



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“REUTILIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN EL
TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS PARA LA
ELABORACIÓN DE LADRILLOS ARTESANALES EN UNA
EMPRESA MINERA DE CAJAMARCA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

María Delicia Chilón Villanueva
Walter Arturo Posadas Gonzales

Asesor:

Mg. Deyci Sánchez Espinoza

Cajamarca - Perú

2018

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS

El asesor Mg. Deyci Sánchez Espinoza, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de INGENIERÍA DE MINAS, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis de los estudiantes:

- Chilón Villanueva María Delicia
- Posadas Gonzales Walter Arturo

Por cuanto, **CONSIDERA** que la tesis titulada: Reutilización de lodos generados en el tratamiento de aguas ácidas para la elaboración de ladrillos artesanales en una Empresa Minera de Cajamarca para aspirar al título profesional de: Ingeniero de Minas por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA** al o a los interesados para su presentación.

Mg. Deyci Sánchez Espinoza
Asesor

ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador asignados han procedido a realizar la evaluación de la tesis de los estudiantes: Chilón Villanueva María Delicia y Posadas Gonzales Walter Arturo para aspirar al título profesional con la tesis denominada: Reutilización de lodos generados en el tratamiento de aguas ácidas para la elaboración de ladrillos artesanales en una Empresa Minera de Cajamarca.

Luego de la revisión del trabajo, en forma y contenido, los miembros del jurado concuerdan:

☐ **Aprobación por unanimidad**

☐ **Aprobación por mayoría**

Calificativo:

☐ Excelente [20 - 18]

☐ Sobresaliente [17 - 15]

☐ Bueno [14 - 13]

Calificativo:

☐ Excelente [20 - 18]

☐ Sobresaliente [17 - 15]

☐ Bueno [14 - 13]

☐ Desaprobado

Firman en señal de conformidad:

Ing. Oscar Arturo Vásquez Mendoza
Jurado
Presidente

Ing. Víctor Eduardo Álvarez León
Jurado

Ing. Rafael Napoleón Ocas Boñón
Jurado

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedicamos principalmente a Dios quién supo guiarnos por el buen camino, darnos la fuerza necesaria para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándonos a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A nuestros padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles y a nuestros amigos incondicionales por la ayuda desinteresada brindada en cada obstáculo que en nuestra vida se presenta, gracias a sus ejemplos hoy hemos llegado a cumplir una de nuestras metas.

A nuestros docentes, que con sus consejos nos han sabido orientar por el sendero de la superación.

Delicia y Walter

AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primer lugar a Dios por el don de la vida, por habernos permitido cumplir con nuestras metas y objetivos, por haber puesto en nuestro camino a personas que nos brindaron su apoyo a lo largo de nuestra formación Académica.

Agradecer a todos nuestros profesores de nuestra etapa de estudiantes, que nos apoyaron en esta tesis con sus ideas y comentarios y en especial gracias a nuestra asesora Mg. Deicy Sánchez Espinoza por su gran apoyo ya que sin su ayuda no hubiese sido posible el desarrollo correcto de esta investigación.

Agradecemos a nuestros y hermanos y amigos que con su apoyo incondicional nos motivaron a seguir adelante.

Delicia y Walter.

Tabla de contenidos

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS	2
ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS.....	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO.....	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	15
CAPÍTULO III. RESULTADOS	25
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	40
REFERENCIAS.....	49
ANEXOS	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Dosificaciones de los tratamientos para elaboración de ladrillos.....</i>	21
Tabla 2 <i>Características físicas de lodos</i>	25
Tabla 3 <i>Comparación de metales ECAs vs Ensayo de laboratorio</i>	27
Tabla 4 <i>Análisis de Varianza</i>	31
Tabla 5 <i>ANOVA LSD de Fisher.....</i>	32
Tabla 6 <i>Textura y color de los ladrillos elaborados a base de lodos.....</i>	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Toma de muestras	15
Figura 2. Pesado de muestra - Figura 3. Midiendo dimensiones	17
Figura 4. Refractado de muestras - Figura 5. Ensayo de Resistencia a la	18
Figura 6. Toma de pH de agua de lluvia - Figura 7. Cambio de agua de lluvia	19
Figura 8. Toma de pH de agua de lluvia - Figura 9. Cambio de agua de lluvia	20
Figura 10. Malla N° 200.....	25
Figura 11. Lodos vs ECAs del suelo	28
Figura 12. USEPA vs Lodos	29
Figura 13. Resistencia a la Compresión de los tratamientos	30
Figura 14. Requisitos básicos dado por la Norma E.070.....	31
Figura 15. Comparación de la mas de ladrillos.....	34
Figura 16. Análisis de Concentración Final de Arsénico (As)	36
Figura 17. Análisis de Concentración Final de Hierro (Fe).....	37
Figura 18. Análisis de Concentración final de Cobre (Cu).....	38

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo principal reutilizar lodos generados en la Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas como materia prima para la elaboración de ladrillos artesanales. Para ello, se realizó la caracterización fisicoquímica del lodo proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas (PTAA) de Minera ubicado en la provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca. Se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos elaborados con los lodos para compararlos con los ladrillos artesanales y finalmente se evaluó si los ladrillos creados a base de lodo podrían lixiviar metales pesados. El estudio experimental fue en bloque al azar, se realizaron seis tratamientos con siete replicas cada tratamiento, de los cuales el tratamiento uno fue a base de lodo y agua; el tratamiento dos, tres, cuatro y cinco fue a base de lodo + arcilla y con diferentes porcentajes de vidrio triturado (8%, 10%, 15% y 20%) respectivamente y el tratamiento seis a base de lodo + cemento + arena. Al realizar los ensayos de resistencia a la compresión, los mejores resultados fueron del tratamiento seis con el valor de 51.038 kg/cm^2 el cual cumple con los valores esperados de un ladrillo artesanal (39.15 kg/cm^2) y por la Norma Técnica Peruana E.070 (50 kg/cm^2), ladrillo industrial Tipo I. Finalmente los tratamientos 1, 2, 3, 4 y 5 los cuales no llegan a cumplir con lo establecido en la Norma Técnica Peruana E.070, ni con los valores de un ladrillo artesanal. Los resultados de lixiviación arrojaron que ninguno de los ladrillos elaborados excede los ECAs de suelo ni los LMP de la USEPA siendo el mejor tratamiento tanto en resistencia como en lixiviación el tratamiento 6. Finalmente esta tesis muestra una alternativa económicamente más viable y ambientalmente aceptable para el manejo de lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas ácidas.

Palabras clave: Reutilización de lodos, lodos.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El tratamiento de aguas ácidas en minería es generalmente llevado a través de una AWTP (Acid Water Treatment Plant). Este proceso consiste en la colección, precipitación, neutralización y regulación del agua ácida tratada en minería. Dentro de ellos, la neutralización y precipitación son los procesos donde se generan los lodos.

Los lodos, son uno de los subproductos o residuos generados después del tratamiento, los cuáles están conformados por arcillas, limos y precipitados de carbonato de calcio. Estos lodos en la industria minera no tienen ningún tipo de uso y son considerados residuos peligrosos y no peligrosos (R.M N°128-2017). Esta disposición final de lodos, genera grandes gastos económicos y es considerado uno de los principales problemas en minería (Wilson, 2017).

Debido a la cantidad de lodos generados en la gran mayoría de empresas mineras, se hace necesario plantear soluciones económicas y ambientales al manejo de los lodos provenientes de las PTAA y PTAR. Por ello esta investigación plantea una alternativa ambientalmente aceptable y económicamente factible al manejo de lodos a través de su reutilización como materia prima en la construcción de ladrillos.

Un proyecto aplicado en la U.E.A. Julcani, hace referencia a la producción de ladrillos usando lodos procedentes del tratamiento de aguas ácidas de mina. El diseño estuvo en función de la utilización máxima de lodos y en menor cantidad de los otros componentes como son cemento, arena y agua, por lo que se realizó el estudio de cada uno de éstos. Los lodos adecuadamente mezclados con cemento y arena permiten obtener un producto de bajo peso y alta resistencia. Luego de realizar varios ensayos

en especímenes elaborados con su propio equipo diseñado para tal fin, lograron alcanzar morteros con una resistencia a la compresión de más de 100 kg/cm² a los 7 días de curado. (Ventura & Winchez, 2007).

La reutilización de lodos está ligada a varias industrias, entre ellas la de la construcción, hace unos años se evaluó la influencia de la temperatura de cocción sobre las propiedades tecnológicas de la cerámica roja hecha de una arcilla caolínica incorporada con un lodo de la planta de tratamiento de agua. El lodo fue inicialmente sometido a pruebas de caracterización para determinar su distribución de tamaño de partícula, composición química, composición mineralógica, comportamiento térmico y aspectos morfológicos. Se prepararon mezclas con cantidades de 0, 3, 5 y 10% en peso de lodo incorporado en el cuerpo arcilloso. Los especímenes rectangulares se obtuvieron mediante moldeo a presión de 20 MPa y luego se aplicó cocción a 700, 900 y 1100 °C en un horno de laboratorio. Se determinaron propiedades cerámicas relacionadas con la densidad aparente, contracción lineal, absorción de agua y resistencia a la rotura por flexión. Los resultados indicaron que la incorporación del lodo aumenta la absorción de agua y reduce la resistencia mecánica de la cerámica cocida arcillosa. Esto es una consecuencia de los cambios causados en la porosidad por la pérdida de peso relativamente elevada durante la etapa de cocción (Monteiro, Alexandre, Margem, Sánchez & Vieira, 2008).

Ruiz (2015), determina que el vidrio triturado le brinda mayor resistencia a la compresión, en el caso de los ladrillos artesanales de arcilla con porcentaje de vidrio los valores del ensayo de resistencia a la compresión son: con 10% de vidrio triturado se obtuvo una resistencia de 97.74 kg/cm² clasificándose como un ladrillo de tipo III, con 15% (90.97 kg/cm²), 25% (89.81 kg/cm²), 50% (66.21 kg/cm²) de vidrio triturado

disminuye la resistencia a la compresión ya que el vidrio triturado no se adhiere con la mezcla de arcilla y no permite una buena trabajabilidad de la mezcla generando mayor porosidad en los ladrillos siendo clasificados como ladrillos de tipo I. De los resultados obtenidos se puede concluir que la adición de vidrio triturado en el lodo no tiene el mismo efecto reforzante que con los ladrillos elaborados con arcilla, ya que en estos aumenta en 3% su resistencia.

1.2. Formulación del problema

¿Se pueden utilizar los lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas ácidas como material base para la elaboración de ladrillos artesanales, de tal modo que cumplan con características de ladrillos artesanales y que no lixivien metales?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Reutilizar lodos generados en la Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas como materia prima para la elaboración de ladrillos artesanales.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar la caracterización fisicoquímica del lodo proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas (PTAA) de la empresa minera.
- Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos elaborados con los lodos para compararlos con los ladrillos artesanales.
- Evaluar si los ladrillos creados a base de lodo podrían lixiviar metales pesados.

1.4. Hipótesis

Los ladrillos fabricados a base de lodos de la planta de tratamiento de aguas ácidas cumplirán con las propiedades de resistencia y peso en comparación a un ladrillo artesanal además de que son aceptables ambientalmente.

1.4.1. Hipótesis general

Se puede utilizar lodos de la planta de tratamiento de aguas ácidas para la construcción de ladrillos artesanales.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Los ladrillos elaborados con lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas ácidas cumplirán con las propiedades de resistencia y peso.
- Después de utilizar el lodo en la construcción de ladrillos no existirá lixiviación de metales pesados que excedan los ECAs de suelo.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población

Lodos producidos en la planta de tratamiento de aguas ácidas de una Empresa Minera de Cajamarca.

2.2.2. Muestra

95 kg de lodo producido en la Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas de una Empresa Minera de Cajamarca.

2.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Se tomaron 200 kg de lodos provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas de la Empresa Minera previo a la toma de lodos se hizo un proceso de secado a través de un filtro prensa ubicado en la misma unidad. Los sacos fueron trasladados hasta el laboratorio de Minas de la Universidad Privada del Norte para las pruebas respectivas.



Figura 1. Toma de muestras

Fuente: Elaboración propia, 2018

2.3. Pruebas de Laboratorio

2.3.1. Determinación de Textura

Para la determinación de la textura de los lodos se realizó a través de la textura en campo en la cual se utilizó el método de textura a mano; la muestra se humedece y amasa entre los dedos hasta formar una pasta homogénea, posteriormente se toma entre los dedos índice y pulgar y se presiona sobre esté ultimo tratando de que se forme una cinta, en la cual se observa la presencia de brillo, si la cinta es lisa o escamosa y si el tacto es áspero. (Mery, 1980).

Para la determinación de la textura de los ladrillos se utilizó la metodología enseñada por (Morales, 2014). La cual consiste en pasar la palma de la mano sobre la superficie del ladrillo y sentir si el material presenta una textura rugosa o lisa. La textura rugosa quiere decir que tiene arrugas, áspera; es como una lija, o sea rasposa, mientras que la textura lisa es completamente plana, como un piso pulido.

2.3.2. Determinación de Metales

La caracterización química inicial de los lodos, se realizó en el laboratorio J RAMON el cual es acreditado por INACAL (Instituto Nacional de Calibración del Perú).

Los resultados de lixiviación de los ladrillos fueron analizados en el laboratorio de metalurgia de Cía Minera Coimolache, donde se analizaron las pruebas utilizando el equipo de absorción atómica.

2.4. Pruebas de Ensayo

2.4.1. Reporte de Aspectos Visuales

Los aspectos visuales evaluados fueron peso y dimensiones. Respecto al peso se colocó cada ladrillo en la balanza y se procedió a anotar el valor que arrojava la balanza en su respectivo formato, este procedimiento se siguió para todas las muestras. Seguido a ello con el uso de un vernier se determinó la longitud, ancho y altura. Tanto la longitud, ancho y altura se miden a través de los extremos y el centro de cada ladrillo, el procedimiento se realizó para todas las muestras.



Figura 2. Pesado de muestras

Fuente: Elaboración propia, 2018



Figura 3. Midiendo dimensiones

Fuente: Elaboración propia, 2018

2.4.2. Reporte de Ensayo de Resistencia a la Compresión

La máquina para realizar la resistencia a la compresión, marca Forney, serie 10165, tiene una capacidad de 250000 lbs. En la cual se ensayaron 7 muestras a base de puro lodo, 28 muestras a base de lodo + arcilla + diferentes porcentajes de vidrio triturado (8%, 10%, 15% y 20%), y finalmente 7 muestras a base de lodo + cemento + arena. El procedimiento que se siguió fue realizar un refractado utilizando 350 gr de yeso con 150 ml de agua a ambas caras a todas las muestras, no excediendo los 15 mm de espesor, puliendo hasta obtener una superficie plana y uniforme con la finalidad que al momento de aplicar la carga esta se distribuya de manera uniforme, se esperó 3 días antes de efectuarse el ensayo. Se ensayaron los ladrillos de lodo, lodo + arcilla + vidrio triturado y lodo + cemento + arena con el centroide de sus superficies de apoyo alineada verticalmente con el centro de empuje de la rótula de la máquina de ensayo, la carga se aplicó en la dirección de su menor dimensión.



Figura 4. Refractado de muestras

Fuente: Elaboración propia, 2018



Figura 5. Ensayo de Resistencia a la compresión

2.5. Pruebas de Lixiviación

Los ladrillos fueron enviados al Laboratorio Metalúrgico de Cia Minera Coimolache, con la codificación correspondiente, una vez en el laboratorio se procedió a pesar cada muestra (por tipos de ladrillos).

2.5.1 Ladrillos con vidrio

Se sumergió las muestras a un balde de 20 l de capacidad, este balde contenía 17 Lt de agua de lluvia con pH 5.35, la muestra de ladrillos el cual se utilizó vidrio dentro de su fabricación, se tomaba la muestra cada 24 horas (a la misma hora), en la cual se agitaba la solución antes de tomar la muestra (50 ml), esta muestra se analizó (en Laboratorio Químico) el contenido de As total, Cu total y Fe total. Luego que se tomaba la muestra se cambiaba el agua de lluvia por agua nueva (pero igual era de lluvia, inicialmente se acumuló 1 cilindro de agua de lluvia), esta operación se realizaba interdiaria, hasta completar 20 días desde el inicio.



Figura 6. Toma de pH de agua de lluvia

Fuente: Laboratorio Químico Cia Minera Coimolache



Figura 7. Cambio de agua de lluvia

Fuente: Laboratorio Químico Cia Minera Coimolache

2.5.2 Ladrillos sin vidrio

Se sumergió las muestras a un balde de 20 l de capacidad, este balde contenía 17 Lt de agua de lluvia con pH 5.93, la muestra de ladrillos el cual se utilizó lodo+cemento+arena dentro de su fabricación, se tomaba la muestra cada 24 horas (a la misma hora), en la cual se agitaba la solución antes de tomar la muestra (50 ml), esta muestra se analizó (en Laboratorio Químico) el contenido de As total, Cu total y Fe total. Luego que se tomaba la muestra se cambiaba el agua de lluvia por agua nueva (pero igual era de lluvia, inicialmente se acumuló 1 cilindro de agua de lluvia), esta operación se realizaba interdiaria, hasta completar 20 días desde el inicio.



Figura 8. Toma de pH de agua de lluvia

Fuente: Laboratorio Químico Cia Minera Coimolache



Figura 9. Cambio de agua de lluvia

Fuente: Laboratorio Químico Cia Minera Coimolache

2.6. Diseño Experimental

Se realizó un diseño experimental en bloque con distribución al azar, en el cual se tuvieron 6 tratamientos con 7 réplicas cada uno.

Tabla 1 *Dosificaciones de los tratamientos para elaboración de ladrillos*

Tratamiento	Mezcla	Proporciones
T1	Lodo+agua	Lodo
		Agua
T2	Lodo+arcilla+8% de vidrio	Lodo
		Arcilla
		Vidrio
T3	Lodo+arcilla+10% de vidrio	Lodo
		Arcilla
		Vidrio
T4	Lodo+arcilla+15% de vidrio	Lodo
		Arcilla
		Vidrio
T5	Lodo+arcilla+20% de vidrio	Lodo
		Arcilla
		Vidrio
T6	Lodo+cemento+arena	Lodo
		Cemento
		Arena

Fuente: Elaboración propia, 2018.

2.6.1. Procedimiento para el Tratamiento 1: (lodo + agua)

- Se realizó la trituración del lodo de manera manual, después se pesó la cantidad a utilizar en la mezcla (14kg).
- Se homogenizó la mezcla con una palana, hasta obtener una pasta añadiendo agua necesaria para la mezcla.
- Se colocó una cantidad necesaria de mezcla en cada molde, aproximadamente 2 kg.
- Se compactó bien la mezcla del molde de madera.
- Una vez bien moldeado se sacaron los ladrillos del molde con mucho cuidado, porque esto genera deformación de la masa. Sin embargo, por la calidad del material estas se deformaron de manera instantánea.

2.6.2. Procedimiento para los Tratamientos 2, 3, 4 y 5: (lodo + arcilla + % vidrio)

- Se realizó la trituración de los vidrios de manera manual, después se pesó la cantidad a utilizar en la mezcla.
- Se realizó el pesado respectivo tanto del lodo como de la arcilla.
- Se añadió el vidrio triturado en un 8%, 10%, 15%, 20%, para cada mezcla con vidrio.
- Se vertió la mezcla con una palana, hasta mezclar todo el material con el vidrio, añadiendo agua necesaria para cada mezcla.
- Se colocó una cantidad necesaria de mezcla en cada molde, aproximadamente 2kg.
- Se compactó bien la mezcla en el molde de madera.

- Una vez bien moldeado se sacaron los ladrillos del molde con mucho cuidado, porque esto genera la deformación de la masa.
- El mismo procedimiento se realizó para todas las muestras necesarias con un 8%, 10%, 15%, 20%.
- Se esperó 15 días para que las muestras sequen.
- Se pusieron las muestras en el horno por 8 días para su cocción.
- Se retiraron las muestras del horno y se dejó 5 días para enfriamiento.
- Se transportaron las muestras a la Universidad Privada del Norte para realizarle los ensayos respectivos.

2.6.3. Procedimiento para el Tratamiento 6: (lodo + cemento + arena)

El proceso de fabricación consta de las siguientes etapas: dosificado, mezclado, moldeado, fraguado y curado.

A continuación, se describen brevemente las diferentes etapas:

- **Dosificado:** El dosificado es el primer paso en el proceso de fabricación del ladrillo. Consiste en diseñar la mezcla, es decir establecer las proporciones de cada uno de los componentes del concreto. Nosotros proporcionas 1:3 según la Norma Técnica Peruana de Edificaciones E-070, esto quiere decir que por cada 3 kg de arena se utilizara 1 kg de cemento, pero en nuestro caso se utilizó 1.5 kg de lodo, 1.5 kg de arena y 1 kg de cemento.
- **Mezclado:** objetivo de esta etapa es obtener una mezcla homogénea, misma que puede llevarse a cabo manual o mecánicamente. En nuestro caso se realizó de manera manual. Se colocó todos los componentes en el

piso y se empezó a mezclar con la ayuda de una palana hasta homogenizar todo el material.

- **Moldeado:** La mezcla homogenizada es vertida en el molde, previamente limpios, para luego ser vibro compactas. Finalmente, se retiraron los ladrillos del molde evitando fracturarlos o deformarlos.
- **Fraguado:** El fraguado es la reacción química entre el cemento y el agua mediante la cual se produce el endurecimiento del concreto. Para que el fraguado ocurra satisfactoriamente los ladrillos permanecían protegidos del sol y del viento por un periodo de 7 días, a fin de evitar que el agua contenida en estos se evapore y detenga este proceso, en cuyo caso se obtendrá una resistencia a la compresión pobre.
- **Curado:** El curado consiste en mantener la humedad del concreto, para lo se agrega agua periódicamente 3 veces al día por 7 días consecutivos, consiguiendo así que la reacción química del cemento continúe. Para esto, agrupamos los ladrillos con la separación suficiente para que puedan humedecer totalmente por toda su superficie

2.7. Análisis Estadístico

Todos los datos fueron analizados usando el software Minitab versión 18. Para verificar que la data sea distribuida normalmente se utilizó la gráfica de probabilidad de Anderson Darling, donde el valor de significancia de p es mayor a 0.05. Para el análisis de resistencia y metales se empleó un análisis de varianza (Anova One Way) y los resultados fueron reportados para un valor $P < 0.05$). Finalmente, las medias fueron comparadas usando el test de significancia LSD Fisher ($P < 0.05$).

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Caracterización de lodos provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas

3.1.1. Caracterización Física

Los lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas ácidas de la empresa minera, presentan un color rojizo-anaranjado (probablemente por la cantidad de hidróxido de hierro presente en los lodos), así mismo un pH de 7.57 debido a la cantidad de Carbonato de Calcio utilizado en el proceso del tratamiento de aguas ácidas y una humedad del 65%. En la Tabla 02, se puede apreciar dichas características. Las características de Granulometría se evaluaron en los tamines desde la malla N° 4 hasta la malla N° 200, sin embargo debido a que la muestra ha sido triturada ninguno de ellos quedo retenido en los tamices y llego a pasar hasta la malla N° 200.

Tabla 2 Características físicas de lodos

Textura	Color	% Humedad	pH	Granulometria
Arcillosa	Rojizo	65%	7.57	NA

Fuente: Elaboración propia, 2018



Figura 10. Malla N° 200

Fuente: Elaboración propia, 2018

De la tabla 2, se puede observar que la textura del lodo es arcilloso. La arcilla es uno de los componentes principales de los ladrillos artesanales. El término arcilla se emplea para definir a la roca sedimentaria dispersa y compuesta de partículas de minerales hojosos compuestos esencialmente de silicatos de aluminio hidratados, y que, en su mayor parte, se hallan como fracción de tamaños de 1 a 0.1 micras, e impurezas de otros minerales acompañantes (Avgustinik ;et,al 1983). El color característico de este lodo es el rojizo, esto se debe a la presencia de un mayor porcentaje de hierro oxidado (Aduvire, 2015). Finalmente el porcentaje de humedad y el pH son característicos de la mayoría de residuos. Es conveniente tener presente el pH, ya que puede inferir en la solubilidad de los metales y por tanto, su movilidad, incrementando el efecto de toxicidad con un impacto negativo. Para $\text{pH} < 7$ existen mayores riesgos de movilidad de los metales pesados, por tanto, debe presentar admisibles inferiores para su aplicación. (Amador; *et, al*, 2015).

3.1.2. Caracterización Química

La caracterización química se realizó a través de un análisis ICP en el laboratorio J RAMON. El único metal que excede los ECAs de suelo es: El arsénico con un valor de 333.56 mg/Kg, excediendo en un valor de 42% (140 mg/Kg).

Tabla 3 Comparación de metales ECAs vs Ensayo de laboratorio

ANÁLISIS DE LABORATORIO JRAMON VS ECA		
	ENSAYO DE LABORATORIO (mg/kg)	ECA DE SUELO (mg/kg)
Aluminio	7119.40	
Antimonio	15.58	
Arsénico	333.56	140.00
Bario	279.78	2000.00
Boro	2.83	
Cadmio	0.56	22.00
Calcio	43065.40	
Cerio	4.12	
Cobalto	1.62	
Cobre	86.94	
Cromo	2.85	1000.00
Estaño	<1,4	
Estroncio	64.64	
Fósforo	287.16	
Hierro	17175.00	
Litio	1.68	
Magnesio	1572.80	
Manganeso	106.74	
Molibdeno	23.86	
Níquel	0.64	
Plata	2.04	
Plomo	93.68	800.00
Zinc	55.55	

Fuente: Elaboración propia, 2018

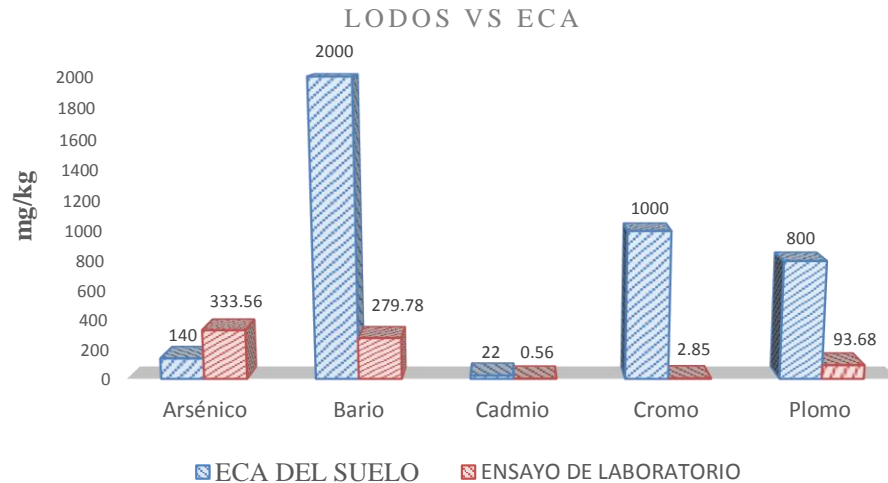


Figura 11. Lodos vs ECAs del suelo

Fuente: Elaboración propia, 2018

De la tabla 3 y la figura N° 11, se puede observar que el único metal que no cumple con el valor de los ECAs es el Arsénico (333.56 mg/kg). Así mismo, se puede observar que los demás metales evaluados en el laboratorio J RAMON no superan los estándares establecidos en el ECA de Suelo: Bario (279.78 mg/kg), Cadmio (0.56 mg/kg), Cromo (2.85 mg/kg), Plomo (93.68 mg/kg).

Según la Agencia de Protección Ambiental Estados Unidos (Norma 503-40 CFR/1993), establece los Límites Máximos Permisibles de metales pesados en lodos los siguiente valores: Arsénico 75 mg/kg, Cadmio 85 mg/kg, Cobre 4300 mg/kg, Mercurio 75 mg/kg, Niquel 75 mg/kg, Plomo 420 mg/kg, Selenio 100 mg/kg, Zinc 7500 mg/kg, Cromo 3000 mg/kg y Molibdeno 57 mg/kg.

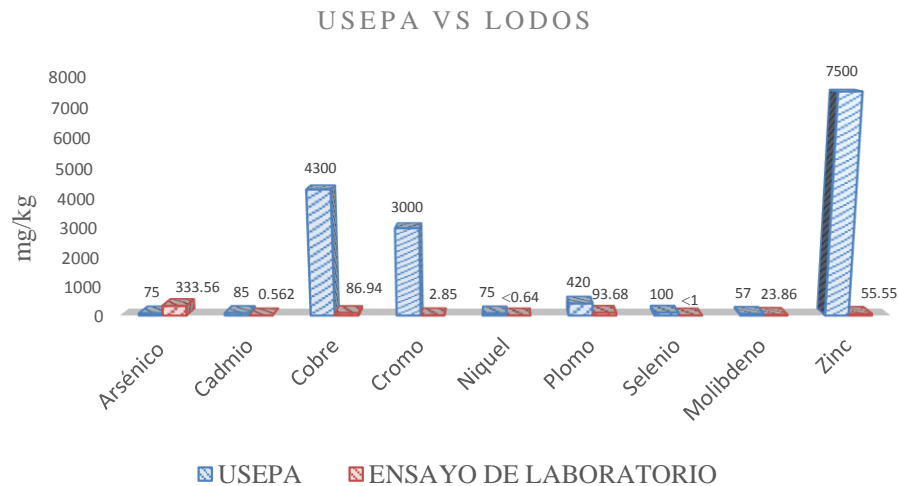


Figura 12. USEPA vs Lodos

Fuente: Elaboración propia, 2018

De la figura 12, Las comparaciones han sido hechas con los ECAs de suelo del MINAM (2016), ya que a nivel nacional aún no se cuenta con alguna norma que determine la cantidad de metales en lodos, sin embargo, se ha tomado como referencia los Límites Máximos Permisibles, establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, la cuál hace referencia a valores de metales en lodo. En la cual el único metal que excede los Límites Máximos Permisibles (LMP) es el Arsénico en 23% (75 mg/kg)

3.2. Resultados de las Propiedades Físicas y Mecánicas de los ladrillos

3.2.1. Resistencia a la Compresión

De los 6 tratamientos evaluados, los tratamientos que mejor resistencia a la compresión tuvieron fueron; tratamiento 6 con un valor de 51.038 kg/cm^2 y tratamiento 5 con un valor de 6.621 kg/cm^2 . Seguidos por el tratamiento 4 con un valor de 4.435 kg/cm^2 y finalmente los tratamientos que no presentaron buenos resultados fueron el tratamiento 3 con un valor de 3.206 kg/cm^2 , tratamiento 2 con un valor de 2.273 kg/cm^2 y el tratamiento 1 que tuvo un valor de 0 kg/cm^2 .

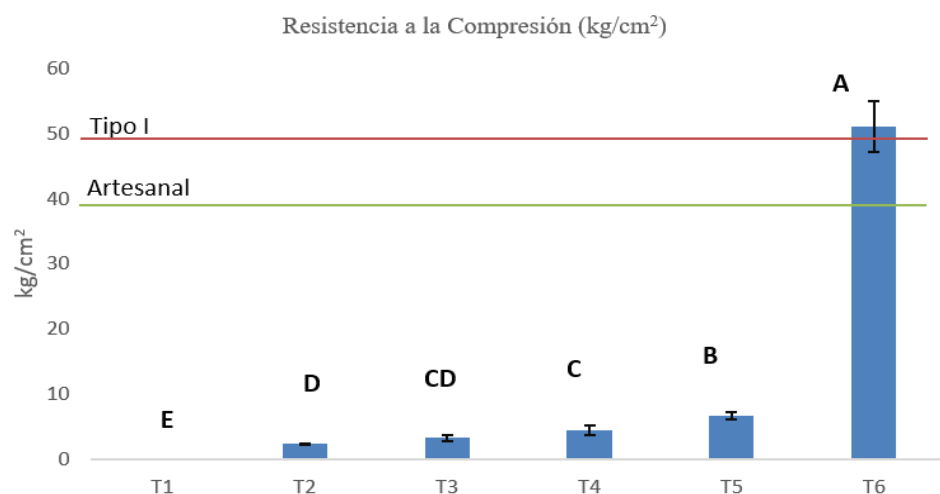


Figura 13. Resistencia a la Compresión de los tratamientos

Fuente: Elaboración propia, 2018

Clase	Variación de la dimensión (máxima en porcentaje)			Características a compresión f_c mínimo en Mpa (Kg/cm ²) sobre área bruta
	Hasta 100mm	Hasta 150mm	Más de 150mm	
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	4,9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	6,9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	9,3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	17,6 (180)

Figura 14. Requisitos básicos dado por la Norma E.070.

Fuente: Norma Técnica Peruana E-070, 2006

Tabla 4 *Análisis de Varianza*

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	Mc. Ajust.	Valor F	Valor P
MUESTRA	5	13460.1	2692.03	965.98	0.000
Error	36	100.3	2.79		
Total	41	13560.5			

Fuente: Elaboración propia, 2018

Tabla 5 ANOVA LSD de Fisher

Agrupar Información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%			
MUESTRA	N	Media	Agrupación
L+C+A	7	51.04	A
20.00%	7	6.621	B
15.00%	7	4.435	C
10.00%	7	3.203	C D
8.00%	7	2.2729	D
Sin Vidrio	7	0.0000000	E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

Fuente: Elaboración propia, 2018

En la figura 13, se muestra los resultados de resistencia a los ladrillos donde se puede observar, que el ladrillo con mejor resistencia es del tratamiento seis (T6) elaborado a base de cemento, lodo y arena, en una proporción de 1:3 según la Norma Técnica de Edificación E.070 Albañilería, cuyo valor es de 51.038 kg/cm², el cual cumple con las características de un ladrillo elaborado artesanalmente (39.15 kg/cm²) y a la vez supera a un ladrillo industrial Tipo I según la Norma Técnica Peruana E.070 presenta una resistencia de 50 kg/cm² como se muestra en la figura 14, y los tratamientos que no cumplen con las características apropiadas fueron los ladrillos elaborados a base de lodo + arcilla + diferentes porcentajes de vidrio, T1 (0%), T2 (8%), T3 (10%), T4 (15%), y T5 (20%), siendo el de peor calidad T1, con un valor de 0 kg/cm².

De la tabla 4 y 5, según las pruebas de Normalidad PC se observa que el Valor p (el valor de significancia) es mayor a 0.100, la cual nos indica que siguen una distribución Normal, y en el Análisis de Varianza el valor p es 0 lo que nos indica que no son estadísticamente significativas. Después de haber realizado el ANOVA Fisher, se puede inferir que las medidas que no comparten una letra son altamente significativas, en este caso se puede deducir de la muestra elaborada a base de lodo + cemento + arena (L + C + A) tiene el mejor resultado y pertenecen a la agrupación A es significativamente diferente a los demás tratamientos. El segundo mejor tratamiento es el 5, porque podemos observar que pertenece al grupo B y es significativamente diferente a los demás tratamientos. Respecto a los tratamientos 4 y 3, se puede observar que no presentan diferencias significativas porque ambos pertenecen al mismo grupo C. De la misma manera para el tratamiento 3 y 2 se puede observar que no presentan diferencias significativas porque ambos pertenecen al mismo grupo D. Y el peor resultado le corresponde al tratamiento 1 que pertenece al grupo E, cabe resaltar que dichas muestras fueron elaboradas a base de puro lodo. Este análisis fue realizado para los 6 tratamientos, obteniendo así los valores descritos en la tabla 4 y 5. **(Ver anexos 01, 02, 03, 04, 05)**

3.2.2. Comparación de la Masa

De los 6 tratamientos evaluados, los mejores resultados respecto al peso lo tuvieron, el tratamiento 1 con un valor de 1.8 kg y tratamiento 4 con un valor de 2 kg. Seguidos por el tratamiento 3 con un valor de 2.15 kg y finalmente los tratamientos que presentaron mayor peso fueron el tratamiento 2 con un valor de 2.3 kg, tratamiento 5 con un valor de 2.5 kg y el tratamiento 6 que tuvo el mayor valor con 2.88 kg, lo cuales no exceden con los pesos de un ladrillo artesanal que tiene un valor aproximado de 3.34 kg.

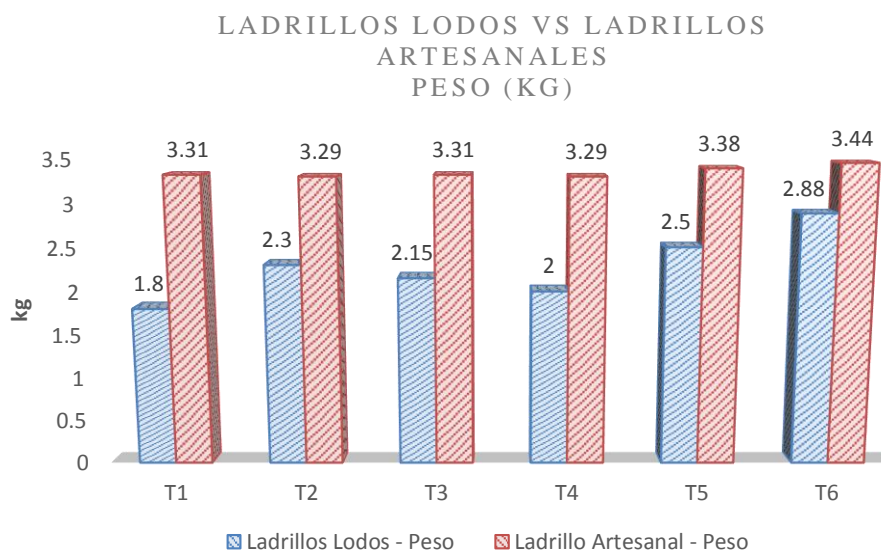


Figura 15. Comparación de la masa de ladrillos

Fuente: Elaboración propia, 2018

De la figura 15, se observa que los resultados con respecto a la masa los ladrillos elaborados a base de lodo presentan un menor peso que los ladrillos artesanales.

2.5.1 Textura y Color

La textura de las muestras de determino pasando la palma de la mano sobre la superficie del ladrillo. Mientras que el color utilizando el sentido de la vista.

Tabla 6 *Textura y color de los ladrillos elaborados a base de lodos*

MUESTRA DE TRATAMIENTOS		
TRATAMIENTO	CARACTERISTICAS	
	TEXTURA	COLOR
T1	Rugosa	Naranja
T2	Rugosa	Naranja
T3	Rugosa	Naranja con manchas negras
T4	Rugosa	Naranja
T5	Rugosa	Naranja
T6	Lisa	Gris/plomo

Fuentes: Elaboración propia, 2018

De la tabla 6; respecto a la textura todos los ladrillos fabricados a base de lodo más vidrio presentan una textura rugosa con color naranja y algunos con manchas, esto se puede explicar de la siguiente manera debido a que algunas de las muestras fueron más expuestas que otras a una temperatura de 1200 °C. El proceso de cocción se llevo a cabo en un horno y las muestras se apilaron de manera ordenada según el porcentaje de vidrio triturado que tenia cada uno, entonces las primeras muestras estaban más expuestas al calor que las que estaban sobre de estas.

El tratamiento N° 6, muestras elaboradas a base de lodo más cemento más arena estas presentan una textura lisa y un color gris – plomo, debido al color característico del cemento, el cual tuvo una mezcla de 25 % y al proceso de fabricación, además estas muestras no sufrieron el proceso de cocción.

3.3. Resultados de Pruebas de Lixiviación

En las siguientes figuras observaremos los resultados de la concentración final (mg/Kg) de Arsénico, Fierro y Cobre después de haber seguido un determinado procedimiento para la elaboración de los ladrillos artesanales base de lodo.

3.3.1. Resultados de Arsénico

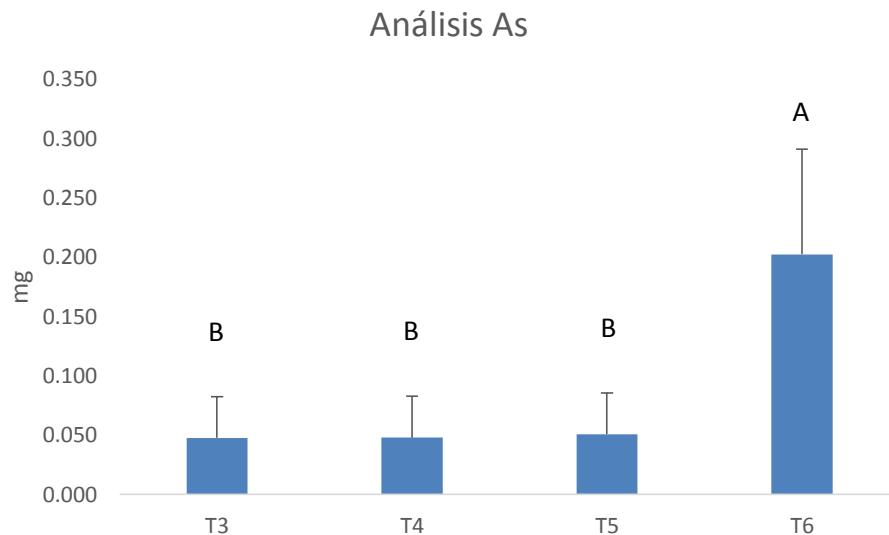


Figura 16. Análisis de Concentración Final de Arsénico (As)

Fuente: Elaboración propia, 2018

Según la figura 16, después de haber realizado el ANOVA Fisher se llega a la conclusión que el tratamiento seis (T6) presenta mayor concentración de Arsénico, y se asume que es debido a los materiales utilizados (lodo, cemento, arena). El procedimiento de fabricación que se siguió no fue necesario el proceso de cocción. A pesar que el tratamiento 6 pertenece al grupo A y es significativamente diferente a los otros tratamiento, los valores arrojados son

insignificantes por los parámetros establecidos por el ECA del suelo y los Límites Máximos Permisibles USEPA. Los tratamientos 3, 4 y 5 pertenecen al grupo B lo que nos indica que no son significativamente diferentes y las concentraciones que presentan son insignificantes, se asume que por el grado de temperatura al cual fueron quemados los ladrillos las concentraciones elevadas de este metal fueron bajando.

3.3.2. Resultados de Fierro

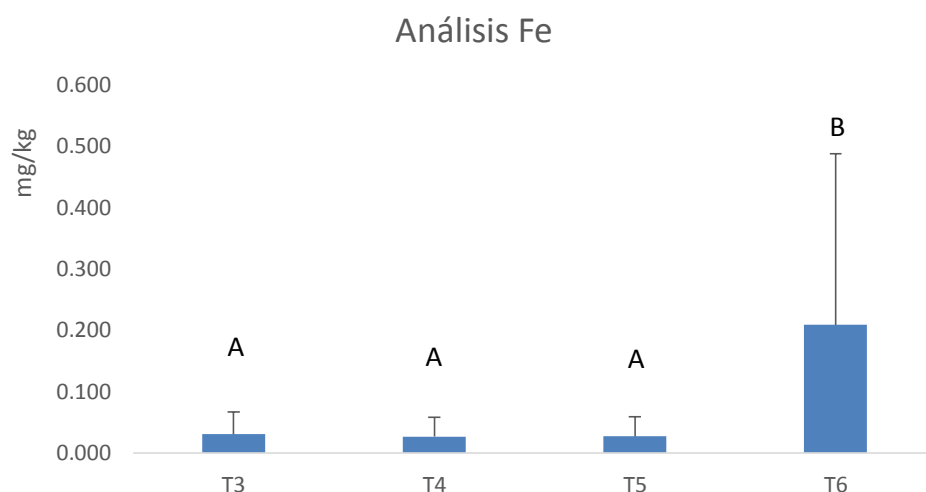


Figura 17. Análisis de Concentración Final de Hierro (Fe)

Fuente: Elaboración propia, 2018

Según la figura 17, después de haber realizado el ANOVA Fisher se llega a la conclusión que el tratamiento seis (T6) presenta mayor concentración de Hierro, y se asume que es debido a los materiales utilizados (lodo, cemento, arena). El procedimiento de fabricación que se siguió no fue necesario el proceso de cocción. A pesar que el tratamiento 6 pertenece al grupo B y es

significativamente diferente a los otros tratamientos, los valores arrojados son insignificantes por los parámetros establecidos por el ECA del suelo y los Límites Maximos Permisibles USEPA. Los tratamientos 3, 4 y 5 pertenecen al grupo A lo que nos indica que no son significativamente diferentes y las concentraciones que presentan son insignificantes, se asume que por el grado de temperatura al cual fueron quemados los ladrillos las concentraciones elevadas de este metal fueron bajando.

3.3.3. Resultados de Cobre

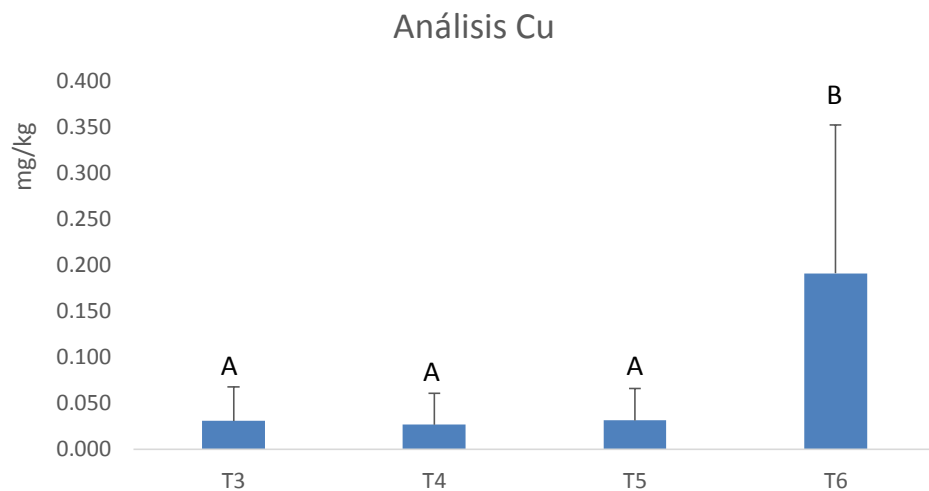


Figura 18. Análisis de Concentración final de Cobre (Cu)

Fuente: Elaboración propia, 2018

Según la figura 18, después de haber realizado el ANOVA Fisher se llega a la conclusión que el tratamiento seis (T6) presenta mayor concentración de Cobre, y se asume que es debido a los materiales utilizados (lodo, cemento, arena). El procedimiento de fabricación que se siguió no fue necesario el

proceso de cocción. A pesar que el tratamiento 6 pertenece al grupo B y es significativamente diferente a los otros tratamientos, los valores arrojados son insignificantes por los parámetros establecidos por el ECA del suelo y los Límites Maximos Permisibles USEPA. Los tratamientos 3, 4 y 5 pertenecen al grupo A lo que nos indica que no son significativamente diferentes y las concentraciones que presentan son insignificantes, se asume que por el grado de temperatura al cual fueron quemados los ladrillos las concentraciones elevadas de este metal fueron bajando.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

4.1.1. Caracterización Fisicoquímica de los lodos

4.1.1.1. Características Físicas

Los lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas ácidas (PTAA) de una Empresa Minera de Cajamarca presentan textura una arcillosa la cual es característica de todos los lodos generados en la planta de tratamientos de aguas ácidas y aguas residuales. Esto debido a que la mayoría de los sedimentos arrastrados por las aguas ácidas han sido precipitados previamente en pozas de decantación, por lo cual solo las partículas más pequeñas (arcillas) son las que terminan en los tanques de neutralización. Ejemplos como estos tenemos en las investigación de Ventura & Winchez (2007), que realizo una investigación en la Unidad Minera Julcani en la cual los lodos también presentaban una textura arcillosa. Y en la investigación de Gonzáles (2015), que realizo una investigación en la Generación, Caracterización y Tratamiento de lodos de EDAR, en la Comunidad Autónoma Andaluza, Universidad de Córdoba y menciona que, el lodo no sólo está compuesto por partículas de distintos tamaños. Sino que, los lodos pasan de tener una textura lisa y homogénea a tener una arcillosa en tiempos muy cortos.

4.1.1.1.1 Color

Los lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas ácidas de una Empresa Minera de Cajamarca presentan un color rojizo-anaranjado probablemente por la cantidad de hidróxido de hierro presente en los lodos.

4.1.1.1.2 Humedad y pH

Los lodos provenientes de la planta de tratamientos de aguas ácidas de la empresa minera presentan un porcentaje de humedad de 65% y el pH de 7 a 7.5 (CMC) son característicos de la mayoría de residuos.

Es conveniente tener presente el pH, ya que puede inferir en la solubilidad de los metales y por tanto, su movilidad, incrementando el efecto de toxicidad con un impacto negativo. Para $\text{pH} < 7$ existen mayores riesgos de movilidad de los metales pesados, por tanto, debe presentar admisibles inferiores para su aplicación. (Amador; *et al*, 2015). Estos lodos presentan características similares a los lodos utilizados en la investigación realizada por (Ventura & Winchez, 2007), en la Unidad Minera Julcani, presentando así un 66.91% de humedad. Sin embargo hay que tener en cuenta que la Empresa Minera ya se tiene un filtro prensa con el cual se disminuye hasta en un 80% de humedad (Sánchez, 2018 comunicación personal)

4.1.1.2. Caracterización Química

Al comparar los metales presentes en los lodos, con los Estándares de Calidad Ambiental del Perú (ECA) 2017 para suelo, se puede observar que el único metal que excede los ECAs es el Arsénico con 333.56 mg/Kg superando así en más de 42 % el valor del ECA. Mientras que los demás metales evaluados no superan los estándares establecidos. Además de ello se sabe que el Arsénico expuesto a pH altos de vuelve mucho más móvil (Raven, *et al.* 1998), y esto se puede explicar debido que en la planta de tratamiento de aguas ácidas se aplicó carbonato de calcio para elevar el pH hasta un valor de 11 (Merino, 2018 conversación personal) lo cual había hecho más móvil al Arsénico. Investigaciones como las de Sadik (1999) demuestran que el arsénico III es la forma predominante en suelos con alto pH así mismo experimentos reportados por Moreno (2010) hacen referencia a mayor pH existen mayor movilidad de partículas de arsénico. Los demás metales no superan los ECAs (MINAM, 2016) ni los Límites Máximos Permisibles de la USEPA (Norma 503-40 CFR/1993) probablemente porque los metales a pH bastantes altos han sido cristalizados. En la investigación realizada por María Pérez Zuñiga, (2016), en donde se estudió el proceso electroquímico de lodos para metales pesados, se determinó la concentración de Plomo presente en los lodos deshidratados fue de (70.78 mg/Kg), el cual es un valor muy aproximado al resultado de los lodos de la Empresa Minera.

Lo mismo sucede para los otros metales reportados. Así mismo en el estudio realizada por Rafael Winchez Guzmán, (2007), para la reutilización de lodos en una unidad minera polimetálica, se encontró los siguientes metales: Plata (0 mg/kg), Plomo (16 mg/kg), Cobre (20 mg/kg), Zinc (110 mg/kg) y Fierro (219, 6 mg/kg) los cuales tampoco incumplen los ECAs y LMP de la USEPA.

4.1.2. Propiedades Mecánicas y Físicas de los ladrillos

4.1.2.1. Resistencia a la Compresión

El ladrillo que dio mejores resultados a la propiedad de Compresión fue del tratamiento 6 representado por la mezcla de lodo + cemento + arena en proporciones de 1:3 según Norma Técnica Peruana E.070, con un valor de 51.038 kg/cm². Este ladrillo cumple con las propiedades de resistencia en comparación con un ladrillo artesanal (39.15 kg/cm²) y además supera un ladrillo industrial tipo I (50 kg/cm²) establecido por la Norma Técnica Peruana de Edificación E.070. Esto se puede explicar debido al uso del cemento en cual es un aditivo universalmente utilizado para aumentar la resistencia (Powers, *et.al.* 1946). Ventura & Winchez (2007) utilizaron lodos provenientes de la planta de tratamientos de aguas ácidas de la Unidad Minera Julcani y los mezclaron en una dosificación de, cemento: 1kg, lodo + arena: 4 kg. En esta tesis, sin embargo, sus resultados fueron mejores (100 kg/cm²). Nosotros nos comunicamos con dichos autores los cuales manifestaron que ellos utilizaron un método de compactación para la fabricación de los

ladrillos y nosotros utilizamos una mesa vibratoria. Cabe mencionar que el método de compactación de Ventura & Winchez no fue mencionada en su tesis por lo cual se recomienda que en futuros trabajos de investigación o aplicación de esta tesis haya una compactación previa.

4.1.2.2. Uso de Vidrio para la fabricación de ladrillos

El mejor resultado de la mezcla de los lodos + arcilla + vidrio triturado lo obtuvo el tratamiento 5 con un valor de 6.621 kg/cm^2 . Seguidos por el tratamiento 4 con un valor de 4.435 kg/cm^2 . Ruiz (2015), determina que el vidrio triturado le brinda mayor resistencia a la compresión, en el caso de los ladrillos artesanales de arcilla con porcentaje de vidrio los valores del ensayo de resistencia a la compresión son: con 10% de vidrio triturado se obtuvo una resistencia de 97.74 kg/cm^2 clasificándose como un ladrillo de tipo III, con 15% (90.97 kg/cm^2), 25% (89.81 kg/cm^2), 50% (66.21 kg/cm^2) de vidrio triturado disminuye la resistencia a la compresión ya que el vidrio triturado no se adhiere con la mezcla de arcilla y no permite una buena trabajabilidad de la mezcla generando mayor porosidad en los ladrillos siendo clasificados como ladrillos de tipo I. De los resultados obtenidos se puede concluir que la adición de vidrio triturado en el lodo no tiene el mismo efecto reforzante que con los ladrillos elaborados con arcilla, ya que en estos aumenta en 3% su resistencia.

Los ladrillos que no obtuvieron buen resultado fueron el tratamiento 3 con un valor de 3.206 kg/cm^2 , tratamiento 2 con un valor de 2.273 kg/cm^2 y el tratamiento 1 que tuvo un valor de 0 kg/cm^2 por lo cual no se recomienda utilizar estas proporciones.

4.1.2.3. Propiedades Físicas

Los ladrillos de los tratamientos N° 1, 2, 3, 4 y 5 fabricados a base de lodo más vidrio triturado presentan una textura rugosa con color naranja y algunos con manchas oscuras, esto se puede explicar de la siguiente manera debido a que algunas de las muestras fueron más expuestas que otras a una temperatura de 1200°C . El proceso de cocción se lleva a cabo en un horno y las muestras se apilaron en forma de plataforma de manera ordenada según el porcentaje de vidrio triturado que tenía cada una, entonces las primeras muestras estaban más expuestas al calor que las que estaban sobre de estas.

Mientras que los ladrillos del tratamiento N° 6, muestras elaboradas a base de lodo más cemento más arena estas presentan una textura lisa y un color gris – plomo, debido al color característico del cemento, el cual tuvo una mezcla de 25 % y al proceso de fabricación, además estas muestras no sufrieron el proceso de cocción.

4.1.3. Pruebas de Lixiviación

El tratamiento 6 que dio mejores resultados a la prueba de compresión por lo que resultaría uno de los tratamientos a utilizarse en campo, reporto valores de lixiviación de Hierro 0.073 ppm, Cobre 0.07 ppm y Arsénico 0.087 ppm de los cuales ninguno excede con los ECAs y los Límites Máximos Permisibles de USEPA. Aunque inicialmente los lodos prestaban un alto contenido de arsénico, probablemente por la mezcla del cemento, la arena y al ser expuesto a la oxidación durante su preparación en la mesa vibratoria sus valores finales en los ladrillos no excedieron los estándares comparativos. Ventura & Winchez (2007) utilizaron lodos provenientes de la planta de tratamientos de aguas ácidas de la Unidad Minera Julcani para la elaboración de sus muestras y finalmente analizando la concentración final de metales con la prueba SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure). Describiendo su procedimiento de la siguiente manera, la muestra pulverizada de ladrillo se colocó en un vaso de vidrio de 600 ml con una relación de sólido/líquido de 1:4 (200gr. / 800mL de agua). La muestra fue agitada con movimientos rotatorios por espacio de 48 horas, tras lo cual la solución fue filtrada en papel whatman 41 y después abalizada por el método de absorción atómica. Obteniendo como resultado los siguientes valores Aluminio = 0.050 mg/L, Arsénico = <0.001 mg/L, Calcio = 486.2 mg/L, Cadmio = 0.00042 mg/L, Cobalto = 0.001 mg/L, Cromo = <0.001 mg/L, Cobre = 0.0044 mg/L, Fierro = 0.172 mg/L, Magnesio = 64.8 mg/L, Manganeso = 0.18 mg/L, Niquel = <0.001 mg/L, Plomo = <0.001 mg/L, Estroncio = 0.98 mg/L y Zinc = 0.030 mg/L de los cuales ninguno excede con

los ECAs y los Límites Máximos Permisibles de USEPA. Se buscó investigaciones acerca de la lixiviación de ladrillos elaborados a base de lodos y no encontraron resultados, por lo cual esta tesis sería una de las primeras en realizar este tipo de análisis.

4.2. Conclusiones

Según las características físicas y químicas encontradas en los lodos de la Empresa Minera se concluye que este material es un material que se puede reutilizar para la fabricación de ladrillos porque no excede los Límites Máximos Permisibles USEPA ni los ECAs del Suelo.

La mezcla que utilizo lodo, cemento y arena para la elaboración de ladrillos cumple con las propiedades de Resistencia a la Compresión y características físicas por lo tanto este método es el que se debería utilizar si se quiere reutilizar los lodos de la planta de tratamientos de aguas ácidas.

Utilizando el tratamiento tipo 6 que consistió en la elaboración de muestras a base de lodo + cemento + arena obtenemos ladrillos que no tendrían ningún problema ambiental para poder ser utilizados durante la construcción como método de edificación.

Finalmente, nuestra tesis demuestra que con el tratamiento número 6 nosotros tenemos una reutilización de estos lodos que económicamente es más viable y ambientalmente es mejor para el manejo de lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas ácidas.

REFERENCIAS

- Ahmari, S., & Zhang, L. (2012). Production of eco-friendly bricks from copper mine tailings through geopolymerization. *Construction and building materials*, 29, 323-331.
- Amador-Díaz, A., Veliz-Lorenzo, E., & Bataller-Venta, M. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 46.
- Avgustinik, A. I. (1983). *Cerámica*. Reverté.
- Bande, M. J., Sáinz, M. J., López, M. E. (2010). Uso de lodos de depuradora de industria láctea como fertilizantes en praderas. *Botánica y Ecología*, 37-42.
- García Ubaque, C. A., García Vaca, M. C., & Vaca Bohórquez, M. L. (2013). Resistencia mecánica de ladrillos preparados con mezclas de arcilla y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales. *Tecnura*, 17(38).
- Gonzáles Granados, I. (2015). Generación, caracterización y tratamiento de lodos de EDAR (Tesis Doctorado).
- Johnson, O. A., Napiah, M., & Kamaruddin, I. (2014). Potential uses of waste sludge in construction industry: a review. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 8(4), 565-570.
- Kizinievič, O., Žurauskienė, R., Kizinievič, V., & Žurauskas, R. (2013). Utilisation of sludge waste from water treatment for ceramic products. *Construction and Building Materials*, 41, 464-473.
- Leyva Cojal, W. (2018). Implementación de un equipo deshidratador de lodos para reducir costos en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, Minera Coimolache SA 2017 (Tesis Parcial).

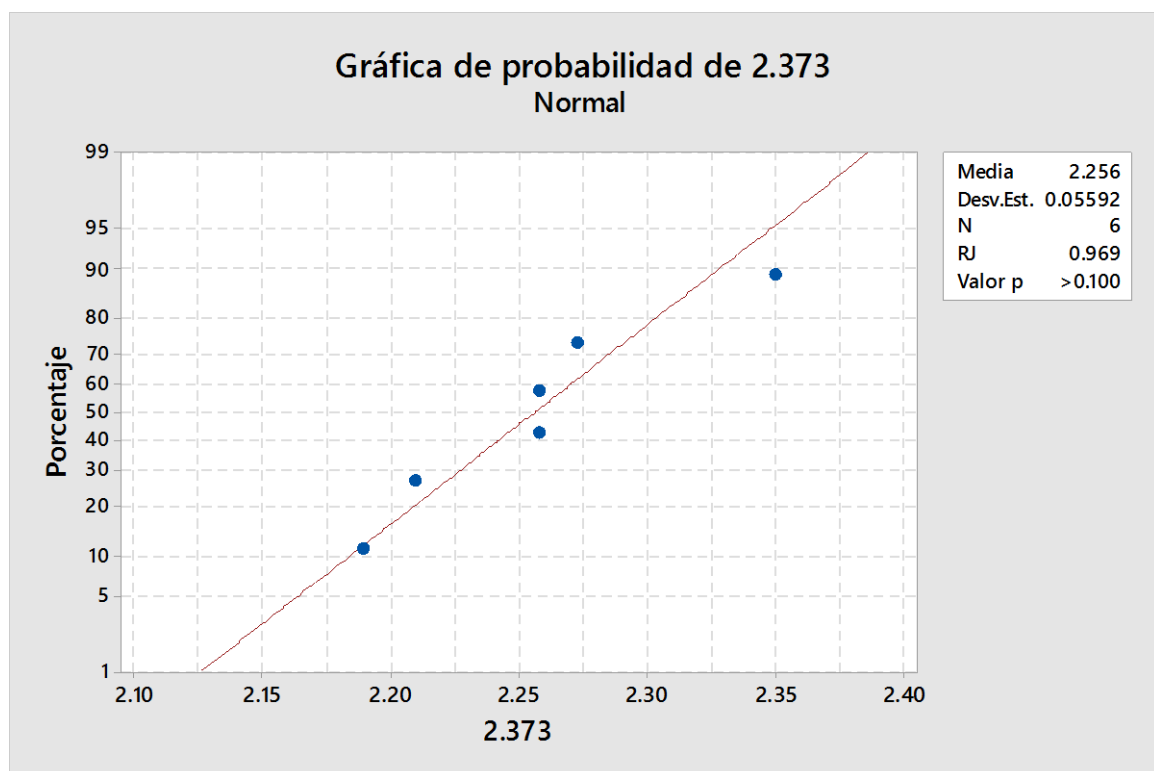
- Lucchese, L. V. (2015). Análise da turbulência em tanques de decantação para tratamento de água utilizando simulação numérica direta.
- Manual Uso de Minitab 18, 2018.
- Martínez-García, C., Eliche-Quesada, D., Pérez-Villarejo, L., Iglesias-Godino, F. J., & Corpas-Iglesias, F. A. (2012). Sludge valorization from wastewater treatment plant to its application on the ceramic industry. *Journal of environmental management*, 95, S343-S348.
- Minera Tantahuatay S.R.L. (2007). Cajamarca, tierra fecunda. Balance social y ambiental, 49.
- Ministerial, P. (2017). Normas Legales. El Peruano.
- Monteiro, S. N., Alexandre, J., Margem, J. I., Sánchez, R., & Vieira, C. M. F. (2008). Incorporation of sludge waste from water treatment plant into red ceramic. *Construction and Building Materials*, 22(6), 1281-1287.
- Moreno-Jimenez, E. (2010). PLANT-BASED METHODS FOR REMEDIATING ARSENIC-POLLUTED MINE SOILS IN SPAIN.TESIS DOCTORAL. Universidad Autónoma de Madrid
- Powers, TC y Brownyard, TL (1946, septiembre). Estudios de las propiedades físicas de la pasta de cemento Portland endurecida. En *Actas de Revistas* (Vol. 43, No. 9, pp. 101-132).
- Quinchía, A. M., Valencia, M., & Giraldo, J. M. (2007). Uso de lodos provenientes de la industria papelera en la elaboración de paneles prefabricados para la construcción. *Revista EIA*, (8), 9-19.

- Raven, K. P., Jain, A., & Loeppert, R. H. (1998). Arsenite and arsenate adsorption on ferrihydrite: kinetics, equilibrium, and adsorption envelopes. *Environmental Science & Technology*, 32(3), 344–349.
- Residuos Mineros. (2007). *Ingeniería Ambiental*, 15-18.
- Sadiq, M. (1997). Arsenic chemistry in soils: an overview of thermodynamic predictions and field observations. *Water, Air, and Soil Pollution*, 93(1-4), 117-136
- Salmerón, A. W. (2010). Gestión Ambiental de lodos de la industria textil. *Naturaleza Educativa*.
- Segunda Modificatoria de la Evaluación de Impacto Ambiental Tantahuatay año 2016.
- SGS. (2017). Proceso con Lodos de Alta Densidad (HDS). SGS. Recuperado de <http://www.sgs.pe/es-es/mining/production-and-plant-services/water-treatment-services/high-density-sludge-hds-process>
- Shakir, A. A., & Mohammed, A. A. (2013). Manufacturing of Bricks in the Past, in the Present and in the Future: A state of the Art Review. *International Journal of Advances in Applied Sciences*, 2(3), 145-156.
- Smol, M., Kulczycka, J., Henclik, A., Gorazda, K., & Wzorek, Z. (2015). The possible use of sewage sludge ash (SSA) in the construction industry as a way towards a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 95, 45-54.
- Ventura, W., Winchez, R. (2007). Fabricación de ladrillos, utilizando el lodo proveniente del tratamiento de aguas ácidas, producto de las operaciones mineras. *ADUNI*, 8-9.

ANEXOS

ANEXO 01

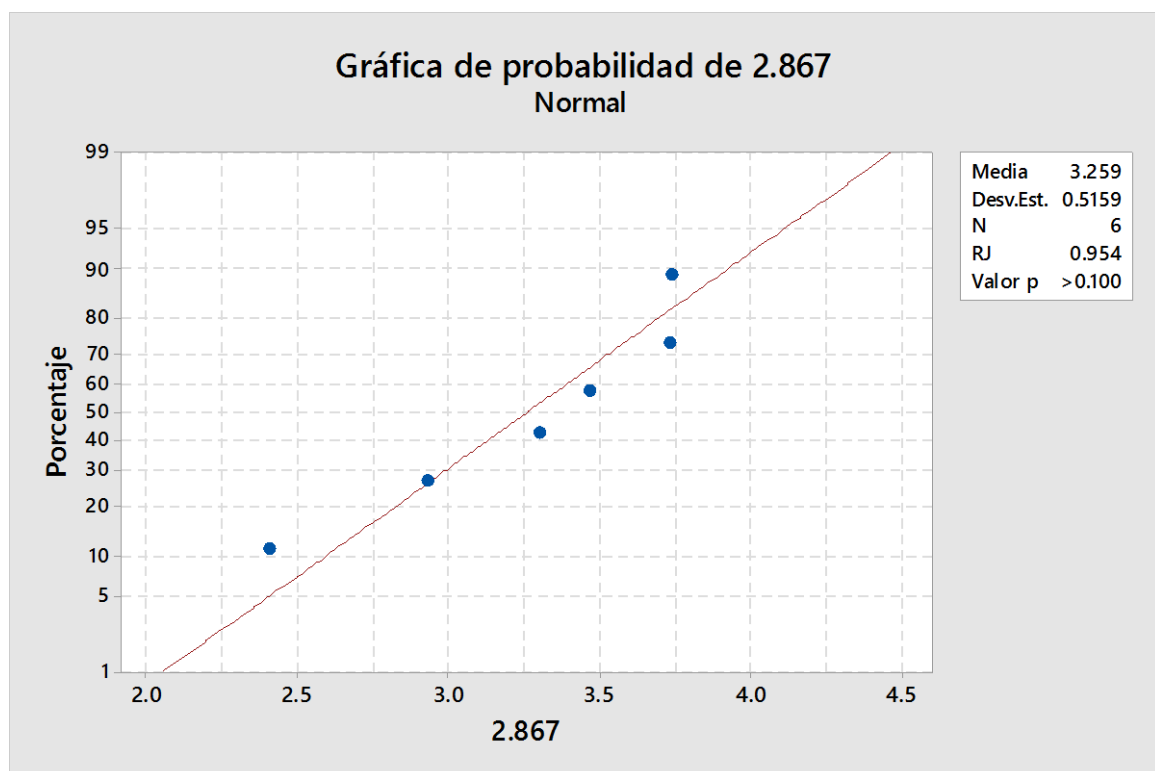
ANÁLISIS DE PROBABILIDAD DEL TRATAMIENTO 2



Fuente: Minitab 18

ANEXO 02

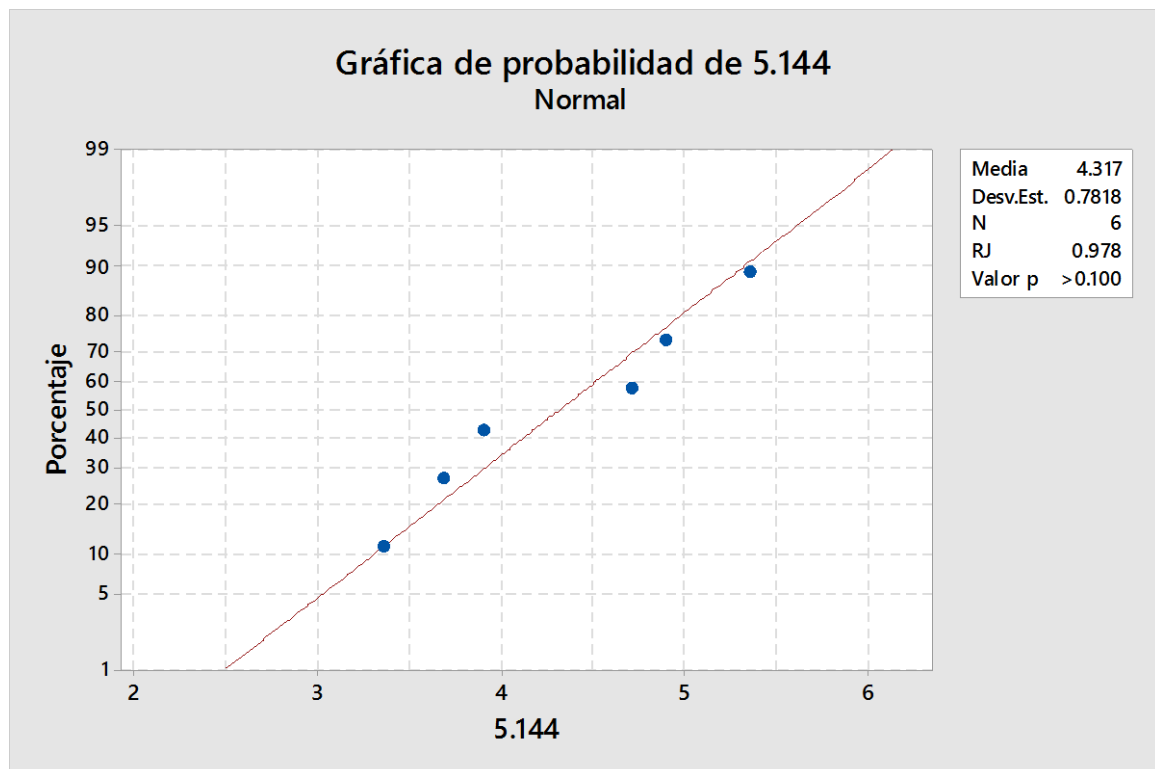
ANÁLISIS DE PROBABILIDAD DEL TRATAMIENTO 3



Fuente: Minitab 18

ANEXO 03

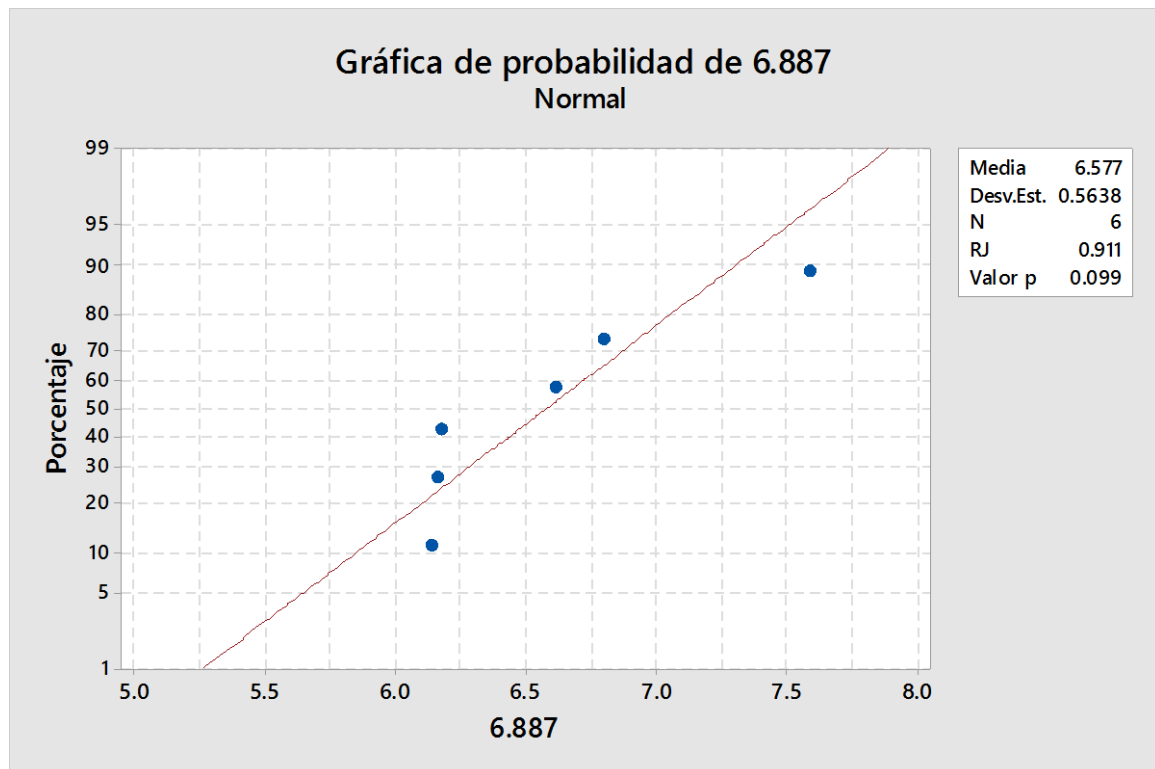
ANÁLISIS DE PROBABILIDAD DEL TRATAMIENTO 4



Fuente: Minitab 18

ANEXO 04

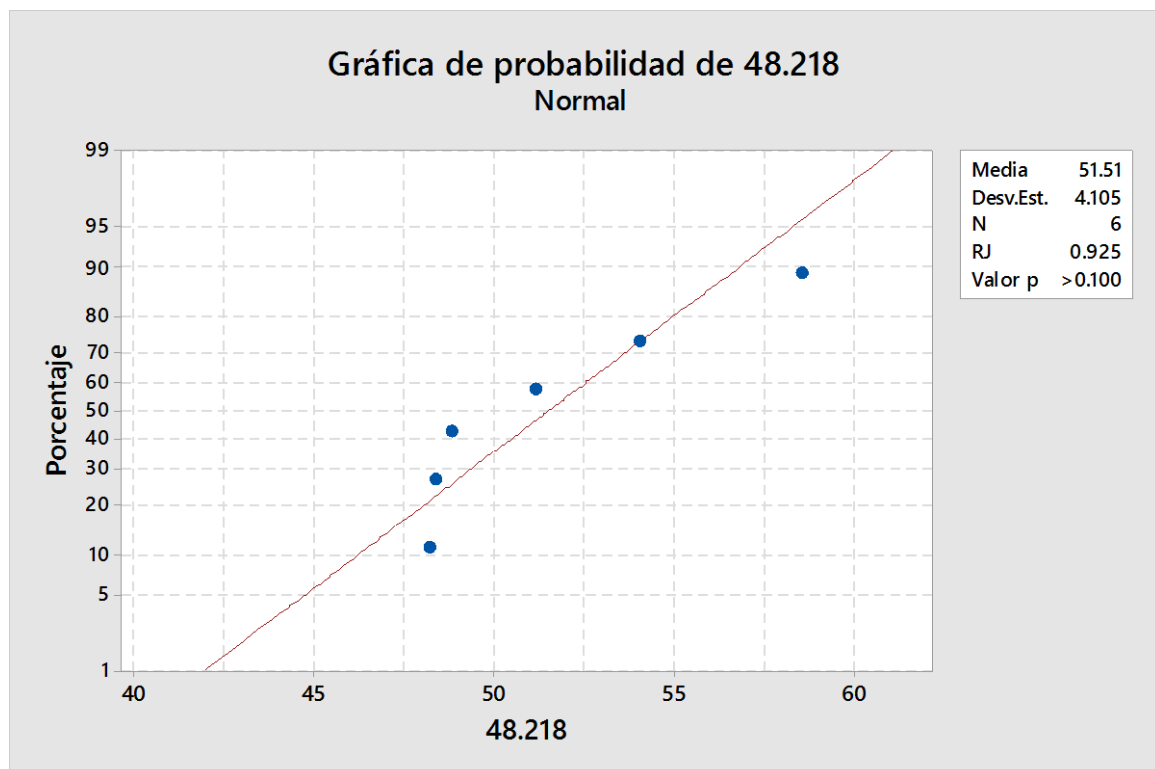
ANÁLISIS DE PROBABILIDAD DEL TRATAMIENTO 5



Fuente: Minitab 18

ANEXO 05

ANÁLISIS DE PROBABILIDAD DEL TRATAMIENTO 6



Fuente: Minitab 18

ANEXO 6

REPORTE DE ANÁLISIS QUÍMICO DE LA MUESTRA

Página 3 de 6



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 028



INFORME DE ENSAYO N° MA16020023 CON VALOR OFICIAL

	Cod. Cliente	LD-1	LD-2	LD-3	LD-4	LD-5	
	Cod. Lab.	1600965	1600966	1600967	1600968	1600969	
	Tipo de Producto	Suelo; lodo	Suelo; lodo	Suelo; lodo	Suelo; lodo	Suelo; lodo	
	Fecha de Muestreo	29/06/2018	29/06/2018	29/06/2018	29/06/2018	29/06/2018	
	Hora de Muestreo	11:40	11:40	11:40	11:40	11:40	
	Cadena de Custodia	36100	36100	36100	36100	36100	
Parámetros	Unidad	L.D.	Resultados				
METALES ICP (*)							
Aluminio	mg/kg	1,69	6 996	7 017	7 070	7 201	7 313
Antimonio	mg/kg	0,6	15,5	15,6	16,0	14,7	16,1
Arsenico	mg/kg	0,92	330,7	334,0	342,9	332,5	327,7
Bario	mg/kg	0,13	275,9	274,9	279,4	286,0	282,7
Berilio	mg/kg	0,03	0,11	0,11	0,11	0,10	0,11
Bismuto	mg/kg	0,8	3,2	1,9	2,4	1,9	1,6
Boro	mg/kg	0,16	4,05	2,41	2,67	2,58	2,45
Cadmio	mg/kg	0,15	0,58	0,62	0,52	0,61	0,48
Calcio	mg/kg	4,6	42 759	43 454	42 463	43 379	43 272
Cerio	mg/kg	0,44	4,33	4,01	4,33	4,00	3,92
Cobalto	mg/kg	0,28	1,91	1,18	1,89	1,59	1,53
Cobre	mg/kg	0,14	86,81	85,72	88,40	87,57	86,19
Cromo	mg/kg	0,16	2,83	2,65	3,00	2,76	3,01
Estaño	mg/kg	1,4	<1,4	<1,4	<1,4	<1,4	<1,4
Estroncio	mg/kg	0,12	63,77	63,91	65,17	66,05	64,29
Fósforo	mg/kg	2,43	272,5	294,9	309,5	273,2	285,7
Hierro	mg/kg	0,83	17 213	16 770	17 546	17 223	17 123
Litio	mg/kg	0,2	1,7	1,4	1,6	2,0	1,7
Magnesio	mg/kg	1,3	1 553	1 557	1 575	1 554	1 625
Manganeso	mg/kg	0,1	104,6	105,6	108,1	105,7	109,7
Molibdeno	mg/kg	0,34	23,85	23,84	23,69	23,92	24,00
Niquel	mg/kg	0,46	<0,64	<0,64	<0,64	<0,64	<0,64
Plata	mg/kg	0,1	1,9	2,0	1,9	2,1	2,3
Plomo	mg/kg	0,4	93,0	96,4	95,0	91,2	92,8
Potasio	mg/kg	3	747	724	748	756	767
Selenio	mg/kg	1	<1	<1	<1	<1	<1
Sodio	mg/kg	2,8	116,5	158,9	111,6	108,1	117,0
Talio	mg/kg	1,5	<1,3	<1,3	<1,3	<1,3	<1,3
Titanio	mg/kg	0,09	47,01	49,68	50,65	46,20	47,47
Vanadio	mg/kg	0,18	17,23	17,39	17,54	17,38	17,44
Zinc	mg/kg	0,75	54,34	61,65	54,26	53,35	54,14

USO DEL INFORME

- 1.- El presente informe solo es válido para el lote de muestras de la referencia.
- 2.- El lote de muestras que incluye el presente informe y/o muestras dicientes en el caso que sean solicitadas por el cliente o entidad licitante serán descartadas a los 30 días calendario de la fecha de emisión de este documento, salvo que su perecibilidad exija un periodo menor, en este caso el periodo de custodia será definido por los requisitos del método empleado.
- 3.- El presente informe de ensayo es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo a las leyes vigentes tanto en materia civil como penal. Está prohibida la reproducción parcial o total del presente informe, salvo autorización escrita de J. Ramon del Perú S.A.C.
- 4.- Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

45 años al servicio de la Minería y el Medio Ambiente. Visitenos en : www.jramoncorp.com



Oficina: Av. Paseo de la República 3780, San Isidro
Laboratorio: Av. Los Eucaliptos, Sector Santa Genoveva, Parcelas 3-4-5 Lurín
Central: +51 1 5133399
E-mail: jramon@jramoncorp.com

ANEXO 07

FORMATOS UTILIZADOS EN LOS ENSAYOS

PROPIEDADES FÍSICAS

TESIS:

“Reutilización de lodos generados en el tratamiento de aguas ácidas para la elaboración de ladrillos artesanales en una empresa Minera de Cajamarca”

Material:

Fecha de muestreo:

Fuente del material:

TRATAMIENTO

MUESTRA Nº	CARACTERÍSTICAS					
	DIMENSIONES			Peso (kg)	TEXTURA	COLOR
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)			
Ladrillo M-1						
Ladrillo M-2						
Ladrillo M-3						
Ladrillo M-4						
Ladrillo M-5						
Ladrillo M-6						
Ladrillo M-7						

.....
Asesor: Msc. Deicy Sánchez Espinoza.
Pulido.

.....
Dr: Ing. Alex Patricio Marinovic

.....
Lab: Ing. Oscar Vásquez Mendoza.

ANEXO 08

FORMATOS UTILIZADOS EN LOS ENSAYOS

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

TESIS:

“Reutilización de lodos generados en el tratamiento de aguas ácidas para la elaboración de ladrillos artesanales en una Empresa Minera de Cajamarca”

Material:

Fecha de muestreo:

Fuente del material:

TRATAMIENTO

Muestras N°	Área	Carga (kg)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la Compresión Mpa
Ladrillo M-1				
Ladrillo M-2				
Ladrillo M-3				
Ladrillo M-4				
Ladrillo M-5				
Ladrillo M-6				
Ladrillo M-7				

.....
Asesor: Msc. Deicy Sánchez Espinoza.

.....
Dr: Ing. Alex Patricio Marinovic Pulido.

.....
Lab: Ing. Oscar Vásquez Mendoza.

ANEXO 09

PROPORCIONES DE MATERIAL PARA LA ELABORACIÓN DE LOS LADRILLOS

Dosificación por unidad de ladrillo

Lodo + agua	
Material	Cantidad
Lodo (kg)	
Agua aprox. (l)	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Dosificación para 7 unidades de ladrillo.

Lodo + agua	
Material	Cantidad
Lodo (kg)	
Agua aprox. (l)	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Dosificación por unidad de ladrillo

Lodo + arcilla + % de vidrio				
Porcentaje de vidrio (%)	8 %	10%	15%	20%
Lodo (kg)				
Arcilla (kg)				
Vidrio (kg)				
Agua (l)				

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Dosificación para 7 unidades de ladrillo.

Lodo + arcilla + % de vidrio				
Porcentaje de vidrio (%)	8 %	10%	15%	20%
Lodo (kg)				
Arcilla (kg)				
Vidrio (kg)				
Agua (l)				

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Dosificación por unidad de ladrillo

Lodo + cemento + arena	
Material	Cantidad
Lodo (kg)	
Cemento (kg)	
Arena(kg)	
Agua (l)	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Dosificación para 7 unidades de ladrillo.

Lodo + cemento + arena	
Material	Cantidad
Lodo (kg)	
Cemento (kg)	
Arena (kg)	
Agua (l)	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

ANEXO 10

FORMATOS DE ANÁLISIS DE LIXIVIACIÓN

MUESTRAS SIN VIDRIOS



CIA MINERA COIMOLACHE S.A.
U.P. TANTAHUATAY

REPORTE DE ENSAYO

FP-TAN-LA-31.01-01

V-02

Laboratorio Químico Coimolache

Despacho Laboratorio: LCPL1803771 **Fecha de Recepcion:**
Cliente : Planta - Metalurgia **Fecha de reporte:**
No. Muestras : 3
Referencia Cliente: PLM-91
Producto descrito como: Solución
Descripción del estado: Solución
Condición de la muestra: Muestras en tubos de plastico
Comentario Adicional :
 Son muestras liquidas de sedimentacion de agua acida

		Método	AASOLCN	AASOLCN	AASOLCN
		Analito	Cu	Fe	As
		Unidad	ppm	ppm	ppm
		Min.Detección			
Nro.	CODIGO MUESTRA				
1	Muestra N° 01 - 10%		0.006	0.091	0.089
2	Muestra N° 01 - 15%		0.008	0.086	0.090
3	Muestra N° 01 - 20%		0.011	0.090	0.095

AASOLCN

: Método Determinación de metales por Absorcion Atomica.



CIA MINERA COIMOLACHE S.A.
U.P. TANTAHUATAY

REPORTE DE ENSAYO

P-TAN-LA-31.01-F01

V-03

Laboratorio Químico Coimolache

Despacho Laboratorio:

Cliente :

No. Muestras :

Referencia Cliente:

Producto descrito como:

Descripción del estado:

Condición de la muestra:

Comentario Adicional :

Método		AAS	AAS	AAS
Analito		Fe	Cu	AS
Unidad		ppm	ppm	ppm
Min.Detección				
Max.Detección				
Nro.	CODIGO MUESTRA			
1	MUESTRA N° 02 - 10 %	0.076	0.090	0.093
2	MUESTRA N° 02 - 15 %	0.056	0.090	0.099
3	MUESTRA N° 02 - 20 %	0.053	0.100	0.095

FAG : Método Determinación de oro y plata por gravimetría
 FAAAS : Método Determinación de oro con finalización en Absorción
 Atómica
 AASCNBLE : Método Determinación de metales solubles en cianuro
 AASR : Método Determinación de metales con agua regia por Absorción
 Atómica.



CIA MINERA COIMOLACHE S.A.
U.P. TANTAHUATAY

REPORTE DE ENSAYO

FP-TAN-LA-31.01-01

V-02

Laboratorio Químico Coimolache

Despacho Laboratorio: LCPL1803835 **Fecha de Recepcion:**
Cliente : Planta - Metalurgia **Fecha de reporte:**
No. Muestras : 3
Referencia Cliente: PLM-96
Producto descrito como: Solución
Descripción del estado: Solución
Condición de la muestra: Muestras en tubos de plastico
Comentario Adicional :

Son muestras liquidas de sedimentacion de agua acida

Método	AASOLCN	AASOLCN	AASOLCN
Analito	Cu	Fe	As
Unidad	ppm	ppm	ppm
Min.Detección			

Nro.	CODIGO MUESTRA			
1	Muestra N° 03 - 10%	0.003	0.013	0.016
2	Muestra N° 03 - 15%	0.003	0.011	0.018
3	Muestra N° 03 - 20%	0.001	0.010	0.021

AASOLCN : Método Determinación de metales por Absorcion Atomica.



CIA MINERA COIMOLACHE S.A.
U.P. TANTAHUATAY

REPORTE DE ENSAYO

P-TAN-LA-31.01-F01

V-03

Laboratorio Químico Coimolache

Despacho Laboratorio:

Cliente :

No. Muestras :

Referencia Cliente:

Producto descrito como:

Descripción del estado:

Condición de la muestra:

Comentario Adicional :

Muestras líquidas de sedimentación de agua ácida

Método		AAS	AAS	AAS
Analito		Fe	Cu	As
Unidad		ppm	ppm	ppm
Min.Detección				
Max.Detección				
Nro.	CÓDIGO MUESTRA			
1	MUESTRA N° 04 - 10 %	0.001	0.013	0.018
2	MUESTRA N° 04 - 15 %	0.001	0.020	0.021
3	MUESTRA N° 04 - 20 %	0.003	0.020	0.026

FAG : Método Determinación de oro y plata por gravimetría
 FAAAS : Método Determinación de oro con finalización en Absorción Atómica
 AASCNBLE : Método Determinación de metales solubles en cianuro
 AASR : Método Determinación de metales con agua regia por Absorción Atómica.



CIA MINERA COIMOLACHE S.A.
U.P. TANTAHUATAY

REPORTE DE ENSAYO

P-TAN-LA-31.01-F01

V-03

Laboratorio Químico Coimolache

Despacho Laboratorio: LCPL1803889 **Fecha de Recepcion:**
Cliente : Planta - Metalurgia **Fecha de reporte:**
No. Muestras : 3
Referencia Cliente: PLM-101
Producto descrito como: Solución
Descripción del estado: Solución
Condición de la muestra: Muestras en tubos de plastico
Comentario Adicional :

Son muestras liquidas de sedimentacion de agua acida

Método	AASTW	AASTW	AASTW
Analito	Cu	Fe	Fe
Unidad	ppm	ppm	ppm
Min.Detección			

Nro.	CODIGO MUESTRA			
1	Muestra N° 05 - 10%	0.002	0.013	0.026
2	Muestra N° 05- 15%	0.001	0.015	0.024
3	Muestra N° 05 - 20%	0.001	0.014	0.025

AASOLCN

: Método Determinación de metales por Absorcion Atomica.



REPORTE DE ENSAYO

P-TAN-LA-31.01-F01

V-03

Laboratorio Químico Coimolache

Despacho Laboratorio: LCGE1803968
Cliente : Laboratorio Metalúrgico
No. Muestras : 3
Referencia Cliente: PLM-105
Producto descrito como: Solución
Descripción del estado: En tubos
Condición de la muestra: Líquida
Comentario Adicional :
 Muestras líquidas de sedimentación de agua ácida

Método	AASCNBLE	AAS	AAS	AAS
Analito	AuCN	Fe	Cu	AS
Unidad	ppm	ppm	ppm	ppm
Min.Detección	0.05			
Max.Detección	10			

Nro.	CODIGO MUESTRA				
1	MUESTRA N° 06 - 10 %		0.009	0.025	0.022
2	MUESTRA N° 06 - 15 %		0.008	0.014	0.026
3	MUESTRA N° 06 - 20 %		0.008	0.028	0.025

FAG : Método Determinación de oro y plata por gravimetría
 FAAAS : Método Determinación de oro con finalización en Absorción Atómica
 AASCNBLE : Método Determinación de metales solubles en cianuro
 AASR : Método Determinación de metales con agua regia por Absorción Atómica.
 PMR : Peso de muestra recibido.
 H2O : Método Determinación de Humedad



CIA MINERA COIMOLACHE S.A.
U.P. TANTAHUATAY

REPORTE DE ENSAYO

P-TAN-LA-31.01-F01

V-03

Laboratorio Químico Coimolache

Despacho Laboratorio: LCGE1803972
Cliente : Laboratorio Metalúrgico
No. Muestras : 5
Referencia Cliente: PLM-106
Producto descrito como: Solución
Descripción del estado: En tubos
Condición de la muestra: Líquida

Comentario Adicional :

Muestras líquidas de sedimentación de agua ácida

Método	AASTW	AASTW	AASTW
Analito	Fe	Cu	As
Unidad	ppm	ppm	ppm
Min.Detección			
Max.Detección			

Nro.	CÓDIGO MUESTRA			
1	MUESTRA N° 07 - 10 %	0.010	0.077	0.070
2	MUESTRA N° 07 - 15 %	0.009	0.058	0.062
3	MUESTRA N° 07 - 20 %	0.010	0.068	0.065

AASTW : Método Determinación de metales totales por Absorción Atómica
H2O : Método Determinación de pH

MUESTRAS CON VIDRIOS

ANEXO 11



CIA MINERA COIMOLACHE S.A.
U.P. TANTAHUATAY

REPORTE DE ENSAYO

P-TAN-LA-31.01-F01

V-03

Laboratorio Químico Coimolache

Despacho Laboratorio: LCGE1803988
Cliente : Laboratorio Metalúrgico
No. Muestras : 1
Referencia Cliente: PLM-108
Producto descrito como: Solución
Descripción del estado: En tubos
Condición de la muestra: Líquida
Comentario Adicional :
 Muestras líquidas de sedimentación de agua ácida

Método	AASTW	AASTW	AASTW	
Analito	Fe	Cu	AS	
Unidad	ppm	ppm	ppm	
Min.Detección				
Max.Detección				
Nro.	CÓDIGO MUESTRA			
1	MUESTRA N° 01	0.056	0.490	0.273

AASTW : Método Determinación de metales totales por Absorción Atómica
 H2O : Método Determinación de pH



CIA MINERA COIMOLACHE S.A.
U.P. TANTAHUATAY

REPORTE DE ENSAYO

P-TAN-LA-31.01-F01

V-03

Laboratorio Químico Coimolache

Despacho Laboratorio: LCGE1804059
Cliente : Laboratorio Metalúrgico
No. Muestras : 1
Referencia Cliente: PLM-115
Producto descrito como: Solución
Descripción del estado: En tubos
Condición de la muestra: Líquida
Comentario Adicional :

Muestras líquidas de sedimentación de agua ácida

	Método	AASTW	AASTW	AASTW
	Analito	Fe	Cu	Cu
	Unidad	ppm	ppm	ppm
	Min.Detección			
	Max.Detección			
Nro.	CODIGO MUESTRA			
1	MUESTRA N° 02	0.058	0.053	0.062

AASTW : Método Determinación de metales totales por Absorción Atómica



Laboratorio Químico Coimolache

Despacho Laboratorio: LCGE1804098
Cliente : Laboratorio Metalúrgico
No. Muestras : 1
Referencia Cliente: PLM-117
Producto descrito como: Solución
Descripción del estado: En tubos
Condición de la muestra: Líquida
Comentario Adicional :
Muestras líquidas de sedimentación de agua ácida

Método		AASTW	AASTW	AASTW
Analito		Fe	Cu	Cu
Unidad		ppm	ppm	ppm
Min.Detección				
Max.Detección				

Nro.	CODIGO MUESTRA			
1	MUESTRA N° 03	0.035	0.081	0.085

AASTW : Método Determinación de metales totales por Absorción Atómica



CIA MINERA COIMOLACHE S.A.
U.P. TANTAHUATAY

REPORTE DE ENSAYO

P-TAN-LA-31.01-F01

V-03

Laboratorio Químico Coimolache

Despacho Laboratorio: LCGE1804015 17/10/2018
Cliente : Laboratorio Metalúrgico 18/10/2018
No. Muestras : 1
Referencia Cliente: PLM-112
Producto descrito como: Solución
Descripción del estado: En tubos
Condición de la muestra: Líquida
Comentario Adicional :
Muestras líquidas de sedimentación de agua ácida

Método	AASTW	AASTW	AASTW
Analito	Fe	Cu	As
Unidad	ppm	ppm	ppm
Min.Detección			
Max.Detección			

Nro.	CODIGO MUESTRA			
1	MUESTRA N° 04	0.041	0.285	0.260

AASTW : Método Determinación de metales totales por Absorción Atómica



CIA MINERA COIMOLACHE S.A.
U.P. TANTAHUATAY

REPORTE DE ENSAYO

P-TAN-LA-31.01-F01

V-03

Laboratorio Químico Coimolache

Despacho Laboratorio: LCGE1804243
Cliente : Laboratorio Metalúrgico
No. Muestras : 1
Referencia Cliente: PLM-125
Producto descrito como: Solución
Descripción del estado: En tubos
Condición de la muestra: Líquida
Comentario Adicional :
 Muestras líquidas de sedimentación de agua ácida

Método	AASTW	AASTW	AASTW	
Analito	Fe	Cu	As	
Unidad	ppm	ppm	ppm	
Min.Detección				
Max.Detección				
Nro.	CODIGO MUESTRA			
1	MUESTRA N° 05	0.793	0.235	0.250

AASTW : Método Determinación de metales totales por Absorción Atómica
 H2O : Método Determinación de pH



CIA MINERA COIMOLACHE S.A.
U.P. TANTAHUATAY

REPORTE DE ENSAYO

P-TAN-LA-31.01-F01

V-03

Laboratorio Químico Coimolache

Despacho Laboratorio: LCGE1804180
Cliente : Laboratorio Metalúrgico
No. Muestras : 1
Referencia Cliente: PLM-123
Producto descrito como: Solución
Descripción del estado: En tubos
Condición de la muestra: Líquida
Comentario Adicional :

Muestras líquidas de sedimentación de agua ácida

Método	AASTW	AASTW	AASTW
Analito	Fe	Cu	As
Unidad	ppm	ppm	ppm
Min.Detección			
Max.Detección			

Nro.	CÓDIGO MUESTRA			
1	MUESTRA N° 06	0.333	0.154	0.243

AASTW : Método Determinación de metales totales por Absorción Atómica
H2O : Método Determinación de pH



CIA MINERA COIMOLACHE S.A.
U.P. TANTAHUATAY

REPORTE DE ENSAYO

P-TAN-LA-31.01-F01

V-03

Laboratorio Químico Coimolache

Despacho Laboratorio: LCGE1804115
Cliente: Laboratorio Metalúrgico
No. Muestras: 1
Referencia Cliente: PLM-118
Producto descrito como: Solución
Descripción del estado: En tubos
Condición de la muestra: Líquida
Comentario Adicional:
 Muestras líquidas de sedimentación de agua ácida

Método		AASTW	AASTW	AASTW
Analito		Fe	Cu	As
Unidad		ppm	ppm	ppm
Min.Detección				
Max.Detección				
Nro.	CÓDIGO MUESTRA			
1	MUESTRA N° 07	0.145	0.038	0.050

AASTW : Método Determinación de metales totales por Absorción Atómica
 H2O : Método Determinación de pH

ANEXO 12: FOTOGRAFÍAS

Análisis granulométrico del lodo

Fotografía N° 01: juego de tamices.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 02: Realizando tamizado en el laboratorio del campus de UPN.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 03: Agregando lodo molido al juego de tamices



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 04: lodo molido - Malla 200.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 05: Vidrio triturado - Malla 200.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Elaboración de los ladrillos a base de lodos con vidrio

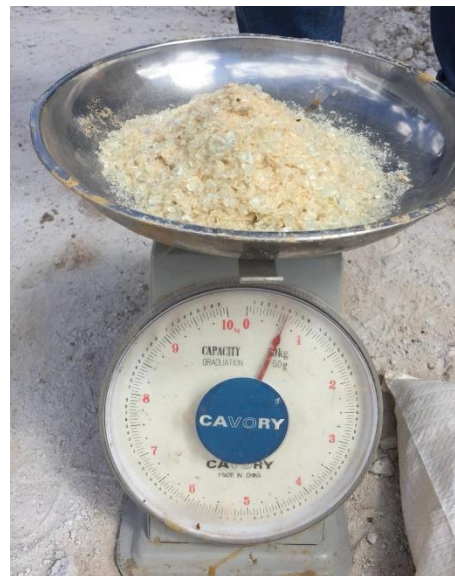
- Dosificación

Fotografía N° 06: Equipo para dosificar los pesos de los materiales.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 07: Peso de vidrio.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N°08: Dosificación de lodo molido y vidrio triturado.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

- Mezclado

Fotografía N° 09:
Homogenización de la mezcla.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 10: Mezcla
homogenizada.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 11:
Homogenización de la mezcla
idónea.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

- Moldeado

Fotografía N° 12: Mezcla ya
compactada.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 13: ladrillos
elaborados.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 14: Ladrillos con 8% de vidrio.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 15: Ladrillos con 10% de vidrio.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 16: Ladrillos con 15% de vidrio.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 17: Ladrillos con 20% de vidrio.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

- Quemado y Almacenamiento

Fotografía N° 18: Horno para quemar los ladrillos.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 19: Ladrillos quemado con 8% de vidrio.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 20: Ladrillos quemado con 10% de vidrio.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 21: Ladrillos quemado con 15% y 20% de vidrio.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 22: Almacenamiento de muestras en el laboratorio de Minas, Campus UPN.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

- **Peso de ladrillos**

Fotografía N° 23: Equipo para pesar los ladrillos.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 24: Pesando y tomando datos de las muestras.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 25: Peso de ladrillo con 8% de vidrio.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 26: Peso de ladrillo con 10% de vidrio.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 27: Peso de ladrillo con 15% de vidrio.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 28: Peso de ladrillo con 20% de vidrio.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

- Toma de medidas de los ladrillos

Fotografía N° 29: Equipo para medir los ladrillos – Vernier.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 30: Midiendo ancho de los ladrillos.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 31: Midiendo largo de los ladrillos.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 32: Midiendo alto de los ladrillos.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

- **Refractado**

Fotografía N° 33: equipo para el refractado – vidrio transparente envuelto con plástico.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 34: Deposito para pesar yeso.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 35: Jarra para medir la cantidad de agua.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 36: Balanza para pesar yeso.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 37: Espátula para realizar el refractado.



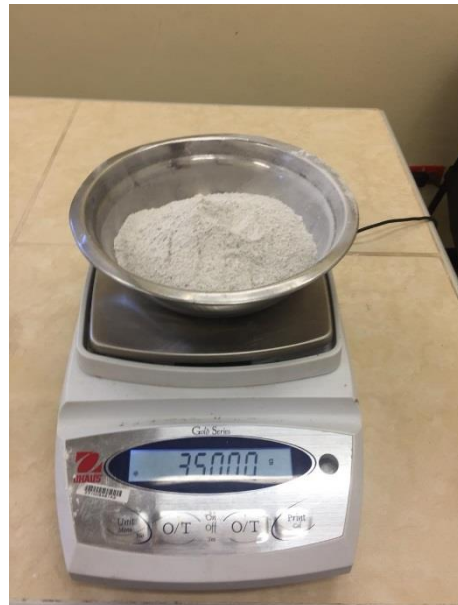
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 38: Peso de depósito en cero.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 39: Peso de yeso por ladrillo.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 40: Preparación de mezcla.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 41: Mezcla idónea para el refractado.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 42: Realizando el refractado.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 43: Muestra con refractado final.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 44: Etiquetando muestras.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 45: Secado de muestras con refractado.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

- Resistencia a la Compresión

Fotografía N° 46: Equipo para la prueba de Resistencia a la Compresión.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 47: Ensayo de la muestra.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 48: Ensayo con 8% de vidrio.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 49: Ensayo con 10% de vidrio.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 50: Ensayo con 15% de vidrio.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 51: Ensayo con 20% de vidrio.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 52: Ensayo con ladrillo artesanal.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 53: Anotación de deformaciones.



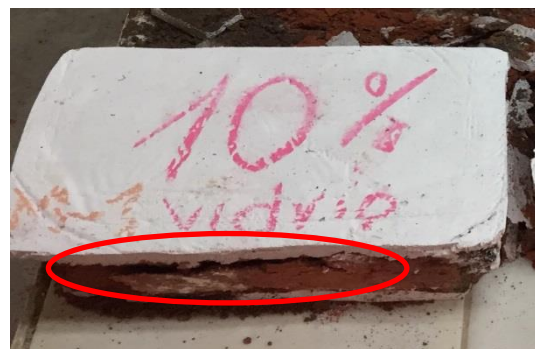
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 54: Fallas en muestras con 8% de vidrio.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 55: Fallas en muestras con 10% de vidrio.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 56: Fallas en muestras con 15% de vidrio.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 5: Fallas en muestras con 20% de vidrio.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Elaboración de ladrillos a base de lodo, cemento y arena.

Fotografía N° 58: Molde metal.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 59: Mezcla de lodo con cemento y arena.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 60: Llenando de material en el molde de metal.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 61: Acomodando el material en la mesa vibratoria.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 62: Muestras finales.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 63: Etiquetado y Secado de muestras, en Campus de la UPN



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 64: Medida de altura de muestras.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 65: Medida de ancho de muestras.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 66: Medida de largo de muestras.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 67: Ensayo de Resistencia a la Compresión.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 68: Muestras después del ensayo de Resistencia.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía N° 69: Fallas en la muestra.



Fuente: Elaboración propia, 2018.